

Estatística Experimental: Planejamento de Experimentos

Versão Preliminar

João Gilberto Corrêa da Silva

Universidade Federal de Pelotas
Instituto de Física e Matemática
Departamento de Matemática e Estatística

Estatística Experimental: Planejamento de Experimentos

Versão Preliminar

João Gilberto Corrêa da Silva

Pelotas, 2007

"Inductive inference is the only process known to us by which essentially new knowledge comes into the world." (R. A. Fisher. The design of experiments, 8th ed. Oliver and Boyd, 1966.)

"Experimental observations are only experience carefully planned in advance, and designed to form a secure basis of new knowledge." (R. A. Fisher. The design of experiments, 8th ed. Oliver and Boyd, 1966.)

CONTEÚDO

1. Ciência e Método Científico
 2. Pesquisa Científica
 3. Métodos de Pesquisa Científica
 4. Pesquisa Experimental
 5. Conceitos Básicos da Pesquisa Experimental
 6. Planejamento do Experimento e Delineamento Experimental: Requisitos e Princípios Básicos
 7. Planejamento das Características Respostas
 8. Planejamento das Características Explanatórias
 9. Planejamento das Características Estranhas e do Controle Experimental
 10. Estrutura das Unidades e Delineamento do Experimento
 11. Estruturas de Experimento Ortogonais
- Apêndice

Estatística Experimental: Planejamento de Experimentos

Versão Preliminar

João Gilberto Corrêa da Silva

Pelotas, 2006

CONTEÚDO

1. Ciência e Método Científico
 2. Pesquisa Científica
 3. Métodos de Pesquisa Científica
 4. Pesquisa Experimental
 5. Conceitos Básicos da Pesquisa Experimental
 6. Planejamento do Experimento e Delineamento Experimental: Requisitos e Princípios Básicos
 7. Planejamento da Resposta
 8. Planejamento das Condições Experimentais
 9. Planejamento das Características Estranhas e do Controle Experimental
 10. Estrutura das Unidades e Delineamento do Experimento
- Apêndice

1 Ciência e Método Científico

Conteúdo

1.1	Introdução.....	2
1.2	Fontes do Conhecimento.....	3
1.2.1	Conhecimento empírico.....	3
1.2.2	Conhecimento mítico.....	3
1.2.3	Conhecimento teológico.....	4
1.2.4	Conhecimento filosófico.....	4
1.2.5	Conhecimento científico.....	5
1.3	Relação da Ciência com a Filosofia.....	6
1.4	Breve História da Ciência.....	8
1.4.1	A ciência na antiguidade.....	8
1.4.2	A ciência na pós-renaissance.....	8
1.4.3	A ciência no século 17.....	9
1.4.4	A ciência no século 18.....	10
1.4.5	A ciência no século 19.....	11
1.4.6	A ciência no século 20.....	11
1.5	Método Científico.....	13
1.6	Estratégia e Tática da Ciência.....	15
1.6.1	Estratégia científica.....	15
1.6.2	Tática científica.....	18
1.7	Objetivos e alcance da ciência.....	19
1.8	Papel da Lógica na Ciência.....	23
1.9	Bases da ciência.....	25
	Exercícios de Revisão.....	28
	Conceitos e Termos Chave.....	30
	Bibliografia.....	30

1.1 Introdução

O homem comum pode adquirir conhecimento de diversas maneiras. O homem do campo, por exemplo, tem conhecimento das plantas que cultiva, da época de semear e de plantar, da forma de tratar a terra, dos meios de proteção contra insetos e pragas. Esse conhecimento tem origem na imitação, nas informações e instruções transmitidas por antecessores e familiares, na educação formal e na experiência pessoal. Esse homem também pode possuir conhecimento gerado por pesquisas conduzidas por instituições científicas, que lhe é transmitido através de meios de comunicação e de treinamento.

O homem também pode adquirir conhecimento científico de modo mais racional, através de educação formal de nível superior e, ainda, aperfeiçoá-lo com especialização em cursos de pós-graduação.

A descoberta de que a natureza é governada por um esquema inteligível teve origem na Grécia. A teoria grega descobriu o universo das idéias e das formas, ordenado pelas regras da geometria, e o universo da natureza, constituído de movimentos logicamente ordenados. Toda a teoria grega dedica-se à descrição dessas duas ordens, consubstanciadas na Geometria de Euclides, na Física de Aristóteles e na Teoria das Idéias de Platão. Somente no início do século XVII teve origem a ciência moderna.

A ciência é um processo lógico de investigação para a solução de problemas e a busca de respostas a questões referentes a fenômenos naturais. Através do método científico, os cientistas tentam a geração de um corpo de conhecimento livre de crenças, percepções, valores, atitudes e emoções pessoais. Isso é logrado através de verificação empírica de idéias e crenças por procedimento aberto à inspeção pública. A confiabilidade do conhecimento científico deriva de sua base em evidência provida por observação objetiva.

O conhecimento científico não é um conhecimento absoluto e definitivo. Pelo contrário, ele tende a se aperfeiçoar e, em conseqüência, levar, por exemplo, à criação de novos métodos, técnicas e procedimentos mais adequados e convenientes. Esse progresso é conseguido através da permanente atividade de indagação a que se dedicam os pesquisadores. Assim, a ciência é uma fonte de geração de conhecimento que se renova para solucionar problemas, responder questões, e desenvolver procedimentos mais efetivos para solucionar problemas e responder questões.

Neste Capítulo e no que segue faz-se uma revisão de conceitos básicos referentes à abordagem científica para geração de conhecimento com o propósito de estabelecer um embasamento para a caracterização racional do método experimental e de sua essencialidade nessa abordagem. O presente Capítulo inicia com a caracterização das principais fontes de conhecimento, para identificação da distinção fundamental da abordagem científica: o método científico (**Seções 1.2**). Na **Seção 1.3** discute-se a relação da ciência com a filosofia, particularmente, com as escolas filosóficas que surgiram ao longo da história. A **Seção 1.4** faz uma breve revisão da origem e evolução histórica da ciência. A **Seção 1.5** conceitua a ciência em termos dos atributos que caracterizam o método científico, e a **Seção 1.6** descreve o método científico como a estratégia da ciência para a geração do conhecimento, através de uma ilustração, e o distingue dos procedimentos e técnicas de áreas específicas da ciência, que constituem os métodos particulares da ciência. Na **Seção 1.7** discutem-se os objetivos e o alcance da ciência, descreve-se a ciência como um esforço permanente e progressivo de interpretação e compreensão da realidade, e caracteriza-se a estrutura básica do processo de construção do conhecimento científico. O papel da lógica na ciência é o tema da **Seção 1.8** Finalmente, na **Seção 1.9**, expõem-se as suposições básicas que constituem os alicerces do conhecimento científico.

1.2 Fontes do Conhecimento

A busca do conhecimento da natureza já era uma característica do homem pré-histórico. Os primeiros contatos do homem com a natureza geraram conhecimento eminentemente sensível. Os recursos limitados permitiam a percepção dos fenômenos apenas através dos sentidos e explicações superficiais. Buscando desvendar o universo, o homem adere ao culto das forças da natureza como forma de conhecimento. Na passagem da época primitiva para a antiguidade, o homem amplia os limites de seu conhecimento, passando das explicações mitológicas do universo para explicações de natureza religiosa. A próxima etapa é a interpretação pelo caminho da razão. Com o surgimento da filosofia, a explicação da natureza passa a ser eminentemente racional. A busca incessante da verdade conduz à passagem da filosofia para a ciência, ou seja, à interação do raciocínio com a abordagem empírica para a explicação das relações causais entre fenômenos, através de procedimentos analíticos e racionais rigorosos.

1.2.1 Conhecimento empírico

A forma ordinária e mais remota do homem criar suas representações e interpretações da realidade é através da experiência do cotidiano e do senso comum. O conhecimento constituído por essas representações surge da necessidade de resolver problemas imediatos. Portanto, esse conhecimento empírico, ou do senso comum, é uma forma espontânea e não sistemática de representar a realidade, sem método apropriado para aprofundar seus fundamentos. Essa forma de geração de conhecimento é motivada pelo interesse prático e as vivências e crenças individuais e coletivas.

Esse é o conhecimento do homem comum, sem formação, gerado pela sua relação com o mundo material. Ele é originado das experiências pessoais, vivenciadas ocasionalmente, do conhecimento que é transmitido entre os indivíduos, das tradições da coletividade e, ainda, de crenças religiosas. Esse conhecimento é possuído no momento presente, lembrado, desenvolvido permanentemente, utilizado para a previsão de eventos futuros e transmitido para a coletividade e de uma geração a outra.

O senso comum situa-se em um âmbito cognitivo muito próximo da realidade e implica certo grau de abstração. Entretanto, ele permanece muito restrito às representações sensíveis e não atinge um nível superior de elaboração que origine a criação ou utilização de conceitos cujos significados aprofundem a compreensão da realidade. Essa limitação gera o conhecimento dos fatos a partir de suas aparências, sem preocupação com sua explicação, ou seja, com uma análise para caracterização de suas origens. O senso comum procede a uma simples junção de idéias, noções e conceitos; não elabora uma compreensão mais aprofundada da realidade. O conhecimento gerado é constituído de um aglomerado indiscriminado de elementos que formam um conjunto fragmentado, sem unidade e coerência. Dessa forma, não é submetido a um nível de crítica necessário para a compreensão da realidade além do que é vivenciado.

A consciência do homem que se comporta com base apenas no âmbito do senso comum é dual e contraditória, o que comumente lhe conduz a atitudes fatalistas face às situações concretas que se apresentam. Muito freqüentemente, o fatalismo se refere ao destino ou a uma concepção de um ser superior, que se constituem nas entidades responsáveis pelos acontecimentos da vida.

1.2.2 Conhecimento mítico

Sem o recurso da escrita, o homem primitivo buscou explicar, narrar e anunciar os fenômenos através de símbolos e alegorias, criando, assim, os mitos. A realidade passou, então, a ser interpretada a partir desses mitos. O conhecimento mítico é um produto da transmissão oral do conhecimento empírico de geração para geração.

Os mitos estavam sedimentados na cultura e na tradição dos povos da antiguidade e representavam muito mais do que uma tentativa de explicar a realidade. O mito

constituía o alicerce histórico das civilizações; explicava o passado e a origem do presente. Era uma representação do mundo real, recriado a partir da elaboração subjetiva das experiências do homem.

O homem primitivo se apegou tanto à explicação mítica da natureza que passou a criar os mitos a partir de sua própria natureza. Assim, por exemplo, acreditava que os animais e objetos possuíam alma e que as divindades possuíam imagem e sentimentos humanos. A pretensão do pensamento mítico era o resgate de um passado remoto, ou seja, daquilo que existia antes do tempo presente, particularmente das raízes humanas. A narração mítica fornecia o suporte à vida em comunidade, ligando o homem a um mesmo passado, a uma mesma história.

As origens de fenômenos inexplicáveis eram atribuídas a poderes e forças imanentes existentes dentro de objetos, animais e pessoas. Povos da antiguidade adoravam o Sol e a Lua; os hindus, a vaca; os maias, os incas, os astecas e outros povos, os totens e amuletos, monumentos e objetos que eles próprios construíam. Esses povos acreditavam que esses entes e objetos eram possuidores de forças e poderes para fazer o bem e o mal, e criavam seus interpretes ou interlocutores, como os bruxos, feiticeiros, sacerdotes, pajés.

Em fase ulterior, essas forças misteriosas são transferidas a seres fictícios com formas humanas. Esses seres eram invisíveis, representados por estátuas, para as quais, principalmente os gregos, romanos e egípcios, rendiam cultos. As intervenções desses seres superiores, denominados deuses, seriam a origem de todos os fenômenos naturais. É a fase do politeísmo. A causa de um conjunto de fenômenos de um setor particular da natureza era atribuída a um deus particular. O politeísmo predominou na Grécia e na Roma antiga. Assim, por exemplo, Diana era a deusa da caça, Eolo o deus do vento, Netuno o deus do mar, Ceres a deusa da colheita.

1.2.3 Conhecimento teológico

A experiência religiosa é tão antiga quanto o homem civilizado. O conhecimento religioso ou teológico é direcionado à compreensão da totalidade da realidade. Seu propósito é a explicação de uma origem e de um fim únicos referentes à gênese e à existência do universo. Atribui a causa de todos os fenômenos a um único ser superior: Deus. Na religião judaico-cristã, Deus é o único criador de tudo que existe. São atribuídos a ele a criação do universo e dos fenômenos naturais, em particular a criação do homem e dos animais, suas existências, transformações e fins.

Do ponto de vista teológico, a existência divina é evidente e evidência prescinde de demonstração. A partir desse princípio, busca encontrar explicações para tudo o que aconteceu e acontece com o ser humano, e procura estudar as questões referentes ao conhecimento das divindades, de seus atributos e relações com o mundo e com os homens. A religião tem seus fundamentos em dogmas e ritos, que são aceitos pela fé e não podem ser provados nem criticados, porque ela é a única fonte da verdade. As fontes do conhecimento teológicas são os livros sagrados – Alcorão para os muçulmanos, Veda para os hindus, Talmude para os judeus e Bíblia para os cristãos. Os interlocutores entre o homem e Deus são sacerdotes, rabinos, pastores e outros intérpretes.

1.2.4 Conhecimento filosófico

O conhecimento filosófico teve início com as primeiras tentativas do homem de compreender o mundo através da associação do raciocínio com a observação. A filosofia desenvolveu-se na Pérsia, China, Índia e em outras regiões do Oriente. A filosofia ocidental originou-se seis séculos antes de Cristo, a partir dos ensinamentos principalmente de filósofos gregos, tais como Sócrates (470-399 a.C.), Pitágoras (580-500 a.C.) Aristóteles (384-322 a.C.) e Platão (428-348 a.C.), os primeiros que buscaram interpretar a natureza por observação e lógica, sem interpretação necessariamente sobrenatural.

A filosofia busca o conhecimento das primeiras causas ou princípios. Ela é destituída de objeto particular, mas assume papel orientador da própria ciência na solução de problemas universais. Assim, a filosofia é a expressão da universalidade do conhecimento humano, ou seja, a fonte de todas as áreas do conhecimento humano. Nesse contexto, a ciência não só depende da filosofia como nela se inclui.

O conhecimento filosófico desenvolveu-se a partir de idéias e teorias formuladas por grandes filósofos, tais como os citados filósofos gregos, e São Tomás de Aquino (1224-1274), Francis Bacon (1561-1626), René Descartes (1596-1650), John Locke (1632-1704), Jean Jacques Rousseau (1712-1778), Immanuel Kant (1724-1804), Georg Hegel (1770-1831), Karl Marx (1818-1883) e, em épocas recentes, Bertrand Russell (1872-1970), Ernest Nagel (1901-1985), Karl Popper (1902-1994) e Carl Gustav Hempel (1905-1997).

A filosofia repousa na reflexão sobre a experiência. A reflexão propicia variações de interpretação sobre as impressões, imagens e opiniões. Assim, as idéias e teorias filosóficas não são unânimes.

A filosofia não se reduz a uma busca de originalidade reflexiva e conceitual. Antes de tudo, a filosofia tem a finalidade de compreender a realidade e fornecer conteúdos reflexivos e lógicos de mudança e transformação da realidade. Cabe à filosofia a tarefa de elaborar pressupostos e princípios norteadores das ações humanas.

As proposições filosóficas são situadas em contexto cultural, que considera o homem inserido na história. A filosofia também é uma reflexão crítica da sociedade, da política, do direito, da educação. Por essa razão, o conhecimento filosófico evolui segundo o contexto histórico.

1.2.5 Conhecimento científico

A ciência originou-se da filosofia. A partir de 5.000 anos antes de Cristo, babilônios e egípcios desenvolveram conhecimentos importantes principalmente em matemática e astronomia. Entretanto, os filósofos gregos foram os principais responsáveis pela combinação de conhecimentos dessas duas áreas, que constituiu o ponto de partida da ciência.

A tarefa da ciência é a explicação de processos e fenômenos naturais. Nenhum sistema de idéias teóricas, termos técnicos e procedimentos matemáticos pode ser considerado como científico, a menos que se relacione com esses fatos empíricos em algum ponto e de algum modo, e auxiliem a torná-los mais inteligíveis.

O conhecimento científico é um sistema de conhecimentos metódicos sobre a natureza. Distingue-se das outras formas de conhecimento por requerer a verificação empírica objetiva de toda explicação referente a fenômenos, que permite uma compreensão de sua natureza e de suas causas, livres de influências, desejos e preconceitos do observador. O cientista busca o conhecimento das relações existentes entre os fenômenos, isto é, das leis naturais. Ele se apóia no raciocínio lógico para deduzir novos conhecimentos a partir de leis ou conceitos gerais.

O caráter especial da ciência pode ser explicado pelas circunstâncias em que os cientistas trabalhavam em suas respectivas áreas. Essas circunstâncias incluem o princípio básico de conhecer o mundo natural através de argumentos demonstrativos. Assim, uma representação ou interpretação de um fenômeno ou processo somente é um conhecimento científico se foi verificado ou demonstrado empiricamente.

A busca do conhecimento científico origina-se da percepção de que o acervo de conhecimento disponível é insuficiente para a compreensão de algum fenômeno ou evento natural. Parte do conhecimento disponível é conhecimento comum ou ordinário, isto é, não científico, e parte é conhecimento científico, ou seja, conhecimento derivado mediante o método da ciência. Este conhecimento pode voltar a submeter-se à prova, aperfeiçoar-se ou ser superado, mediante esse mesmo método. Na medida em que o processo científico avança, porções do acervo de conhecimento ordinário são corrigidas

ou rechaçadas, e o corpo de conhecimento científico é incrementado. Assim, a ciência cresce a partir do conhecimento comum e o supera com o seu crescimento. De fato, o trabalho científico inicia no ponto em que a experiência e o conhecimento comum deixam de prover soluções para problemas referentes a fenômenos de interesse, ou mesmo de formulá-los.

Entretanto, o conhecimento científico não é um mero refinamento e extensão do conhecimento comum. É um conhecimento de natureza especial. A ciência também trata de fenômenos não observáveis e não cogitados pelo homem comum, levanta conjecturas que vão além do conhecimento comum, e submete essas conjecturas à prova com base em suas teorias e com o auxílio de técnicas especiais. Por outro lado, a ciência é incapaz de desenvolver conhecimento a partir de explicações não naturais.

Assim, a abordagem científica distingue-se de outras formas de geração de conhecimento em muitos aspectos, particularmente quanto ao método. Entretanto, ela tem algumas semelhanças com essas outras fontes de conhecimento, pelo menos se é limitada consideração ao conhecimento ordinário gerado pelo senso comum. De fato, o senso comum, assim como a ciência, aspira a ser racional e objetivo. Entretanto, o ideal de racionalidade, ou seja, a sistematização coerente do conhecimento somente é conseguida mediante teorias, que constituem o núcleo da ciência, enquanto que o conhecimento comum é constituído por acumulação de peças de informação pouco relacionadas. Por outro lado, a objetividade ideal, ou seja, a construção de representações da realidade impessoais, não pode ser lograda sem a superação dos limites estreitos da vida cotidiana e da experiência pessoal. Ela demanda a formulação de conjecturas de existência de objetos físicos além das precárias impressões sensoriais, e a verificação de tais conjecturas por meio de experiência objetiva, planejada e interpretada com o auxílio de teorias. O senso comum pode conseguir apenas objetividade limitada porque está estreitamente vinculado à percepção e à ação.

Em resumo, o conhecimento científico é racional e objetivo como o originado do senso comum, mas muito mais racional e objetivo do que este. A peculiaridade da abordagem científica que a distingue do senso comum é a forma como opera, ou seja, o método científico, e o objetivo para o qual esse método é aplicado. Esses temas são tratados nas **Seções 1.5, 1.6 e 1.7.**

1.3 Relação da Ciência com a Filosofia

O método científico é algumas vezes contrastado com outras abordagens para a geração de conhecimento. Surge, então, a questão natural da credibilidade do conhecimento científico, em contraste com conhecimento de outras origens. Particularmente, são algumas vezes questionados o caráter filosófico e a estrutura lógica do conhecimento científico.

Em primeiro lugar, deve ser observado que a ciência é um método e não uma filosofia. Como tal, ela não está comprometida com qualquer teoria ou filosofia particular de conhecimento. De fato, a ação do cientista revela certas preferências mentais e consistências de seu método que são algumas vezes relacionadas com pontos de vistas de escolas filosóficas conhecidas pelas designações de:

- racionalismo,
- empirismo,
- positivismo,
- pragmatismo e
- determinismo.

Um exame breve do significado filosófico dessas designações é útil para esclarecer a distinção da posição do cientista em relação a esses pontos de vista, que implicam em diferenças nas perspectivas referentes ao conhecimento.

O **racionalismo** refere-se à convicção filosófica de que a razão humana é o principal instrumento e a autoridade última na busca da verdade. O racionalismo não nega o valor da experiência sensorial como uma fonte de conhecimento, mas sustenta que apenas a operação lógica da mente pode determinar a verdade de qualquer experiência ou idéia. Por sua aderência às regras de lógica estabelecidas, o cientista poderia ser taxado de racionalista. Entretanto, esta designação seria imprópria, dado que ele não acredita apenas na razão pura como um guia para o conhecimento válido. A base racional do método científico é fundamentada no sistema de lógica empregado no raciocínio científico, mas o método de análise científica requer muito mais do que apenas fé na razão.

O **empirismo** fundamenta-se na convicção de que a experiência sensorial deve ser considerada como a fonte mais confiável de conhecimento. Certamente, a ciência é, em parte e em certas áreas, um método empírico, tanto como um método lógico, isto é, racional. Todavia, o aspecto empírico da ciência relaciona-se ao modo como os dados são percebidos e não à fé na validade exclusiva de experiências sensoriais. O raciocínio sobre as impressões empíricas é tão importante como as sensações recebidas.

A evidência empírica é básica à ciência, mas ela só tem significado se interpretada por noções particulares sobre seus atributos, efeitos, etc. De fato, uma grande parte da estrutura do conhecimento científico é composta de abstrações, isto é, de idéias sobre fenômenos e suas inter-relações, não de evidência empírica. A ciência é empírica no sentido de que seu último recurso para o estabelecimento da credibilidade de qualquer conhecimento particular é o fato empírico, a demonstração empírica, ou a predição empírica. Mas sustentar que a ciência é apenas ou basicamente empírica é limitar inadequadamente sua estrutura teórica.

Estas duas escolas filosóficas têm mais de três séculos de história. O **positivismo lógico** é uma escola mais moderna que tem sido relacionada à ciência. Ele se refere à crença de que afirmações têm significado fatural apenas quando são confirmadas por evidência empírica. Na realidade, o positivismo lógico é um movimento de alguns filósofos da ciência para uma unificação dos vários ramos da ciência pelo esclarecimento de idéias e desenvolvimento de precisão metodológica através de análise lógica. É uma derivação do empirismo que enfatiza o desenvolvimento de comunicação objetiva, especialmente através da lógica simbólica e da matemática. Alguns cientistas têm algo de positivistas lógicos, por buscarem, constantemente, uma unidade comum de método, princípios básicos e comunicação. Entretanto, mesmo entre os poucos “neopositivistas” de hoje, a atitude restritiva original referente à credibilidade de certos tipos de conhecimento foi muito modificada.

Observe-se que o positivismo lógico tem apenas conexão tênue com o positivismo, uma escola filosófica do século 19 que esperava arranjar todo o conhecimento em uma organização inter-relacionada de modo completo e coeso para a solução racional de todos os problemas humanos.

A quarta escola filosófica que algumas vezes é relacionada à ciência é o **pragmatismo**, que consiste na crença de que o último teste do valor de uma idéia é sua utilidade na solução de problemas práticos. Certamente, o cientista é um homem prático que busca a solução de problemas reais. Entretanto, como uma posição filosófica, o pragmatismo é de pouco valor na ciência moderna. De fato, muito conhecimento científico é puramente teórico, sem valor prático por si. Todavia, esse conhecimento teórico tem papel vital na estrutura da ciência. O conjunto de teorias abstratas que fundamenta toda ciência, que constitui a usualmente designada “ciência pura”, é altamente não pragmático.

A última ligação filosófica à ciência é o **determinismo**, ou seja, o argumento de que nada tem lugar na natureza sem causas naturais. O determinismo na ciência não é um “credo” mas um “postulado” que é empregado na análise de causalidade (**Seção 1.9**). A ciência também já foi relacionada ao **materialismo**, isto é, à doutrina filosófica de que todo

o conhecimento pode ser derivado do estudo da matéria. Entretanto, hoje a ciência é materialista, mecanicista ou determinista apenas na medida em que ela se fundamenta em uma base de fatos demonstráveis objetivamente, com o auxílio de instrumentos físicos de observação e mensuração. Ademais, o determinismo não deve ser confundido com “fatalismo”, ou seja, a inevitabilidade natural dos eventos. A ciência busca compreender as regularidades dos fenômenos, mas tais regularidades não são imputadas a qualquer agente causal inevitável. Um “postulado de regularidade na natureza” é pressuposto pelo cientista como um princípio, com o propósito de obter conhecimento fidedigno. Entretanto, tal princípio não é assumido como uma “lei da natureza”. Este termo não tem significado importante nas explicações científicas modernas da causalidade.

1.4 Breve História da Ciência

1.4.1 A ciência na antiguidade

O conhecimento científico (ou ciência) tem suas raízes nas contribuições de filósofos gregos. As primeiras tentativas de explicar os fenômenos naturais sem fundamentação mitológica de agentes pessoais, mas com base na razão e evocação de causas, originaram-se com Tales de Mileto (624-546 a.C.), seis séculos antes de Cristo.

Entretanto, as explicações especulativas de fenômenos eram baseadas no senso comum, em vez de argumentos técnicos sobre experiências controladas artificialmente. Esta abordagem emerge com Aristóteles, no quarto século antes de Cristo. Através de observação rigorosa e teorização disciplinada, Aristóteles estudou detalhadamente a anatomia animal e criou uma ciência biológica. Em cada estudo, ele definia a área e seus problemas, dialogava criticamente com seus predecessores e, então, procedia ao desenvolvimento de seu argumento através de experiência e razão. Suas explicações eram fundamentadas em termos de qualidades perceptíveis e uma série de causas.

1.4.2 A ciência na pós-renascença

Embora os gregos tenham criado um sistema de pensamento similar à abordagem científica há cerca de dois mil e quinhentos anos, houve pouco progresso nos séculos seguintes. A potência da ciência e sua influência marcante têm origem recente. A ciência como é conhecida hoje tem raízes no século 16, principalmente a partir de três fontes de influência: a) a descoberta da antiguidade clássica e a publicação de textos latinos e gregos de todos os campos, inclusive ciência, na Renascença; b) a invenção da imprensa por Johannes Gutenberg (1390-1468) e sua rápida expansão, que tornou livros disponíveis e baratos, antes do fim do século 16, com influência marcante na aprendizagem e na cultura; c) as descobertas de novas terras, por espanhóis e portugueses, que criou novas demandas de conhecimentos de astronomia, técnicas hidrográficas e matemáticas, e introduziu na Europa novas plantas, animais, doenças e civilizações.

No fim do século 15 surgiram na Europa os primeiros experimentadores. A especulação passa a ser substituída pela experimentação. Em lugar de perguntar “por quê?”, o homem começa a perguntar “como?” O precursor dessa mudança de atitude foi Leonardo da Vinci (1452-1510). Ao estudar fenômenos da natureza, ele procurava realizar experimentos, em diversas condições e circunstâncias, para alcançar uma regra geral que se aplicasse a todos os experimentos realizados. Foi assim que estabeleceu a regra de que o peso suportado por uma coluna é proporcional à altura e largura da coluna.

Entretanto, no início do século 16 o conhecimento ainda era rudimentar e muito dependente da assimilação confusa de fontes antigas. Antes da metade desse século, apareceram trabalhos relevantes, como o tratado do polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), publicado em 1543, que revolucionou a cosmologia com a nova idéia heliocêntrica;

a nova abordagem de pesquisa em anatomia do belga Andreas Versalius; e os avanços em álgebra do italiano Gerolamo Cardano (1501-1576). Copérnico defendia a idéia de que a matemática poderia ser aplicada à pesquisa de qualquer problema que envolvesse quantidades mensuráveis. Embora os desenvolvimentos teóricos tivessem a tendência de serem especulativos, houve um considerável avanço em muitas áreas. Em particular, antes do fim do século, a matemática era usualmente ensinada na Europa.

1.4.3 A ciência no século 17

Na virada para o século 17, um homem de educação superior tradicional, denominada “escolástica”, ainda acreditava que a Terra era o centro do universo e que as estrelas e os planetas giravam em torno dela, movidos por algum ente inteligente e divino, influenciando os eventos na Terra segundo suas localizações e aspectos. Acreditava em um mundo vivo, criado e guiado por Deus para o benefício do homem. Surgiram, então, descobertas científicas importantes que ainda são hoje aceitas, mas que eram explicadas com base na cultura ainda presente. Assim, em 1600, o inglês William Gilbert (1540-1603), no curso da demonstração de que a alma do mundo estava incorporada em um magneto, explicou a bússola com fundamento na idéia de que a terra era um magneto gigantesco muito fraco. Pouco depois, em 1609, o polonês Johannes Kepler (1571-1630) descobriu as órbitas elípticas dos planetas em torno do sol, mas nunca cessou sua busca pela harmonia do cosmos. Mais tarde, em 1628, o inglês William Harvey (1578-1657) estabeleceu a circulação do sangue, mas a explicou como uma imagem microscópica das circulações do mundo, em vez de um sistema puramente mecânico.

No século 17 ocorreu uma revisão radical dos objetos, métodos e funções do conhecimento da natureza. Os novos objetos passaram a ser fenômenos naturais em um mundo desprovido de propriedades humanas e espirituais; os métodos, pesquisas cooperativas disciplinadas, e as funções, a combinação do conhecimento com o poderio da indústria. Os grandes propulsores dessa revolução na ciência foram o inglês Francis Bacon (1561-1626), o francês René Descartes (1596-1650) e o italiano Galileu Galilei (1564-1642). Bacon contestou o uso exclusivo da lógica e da observação, em contraposição às regras de lógica de Aristóteles. Advogou um novo meio pelo qual o homem poderia estabelecer o controle da natureza, um plano para a reorganização da ciência, e propôs um método científico em sua obra mais celebrada “*Novum organum*”. Bacon criou o método de “indução exhaustiva”, sustentando que, idealmente, o cientista deve prover uma enumeração exhaustiva de todos os exemplos do fenômeno empírico sob investigação como uma preliminar para a identificação da forma natural da qual eles são uma manifestação. Advogou que os fatos observados empiricamente são os pontos de partida para toda ciência e que a teoria deve ser levada em conta na medida em que ela seja derivada dos fatos.

Em contraste, Descartes enfocou o problema da construção de um sistema dedutivo de teoria consistente e coerente, através do qual o argumento poderia proceder com a segurança formal familiar da geometria euclidiana. Advogou a idéia de uma ciência universal unitária que vincularia todo conhecimento humano possível em uma sabedoria abrangente. Sua renomada obra “*Discurso sobre o método*”, publicada em 1637, marcou a consolidação definitiva do método científico. Em busca da certeza, Descartes contestou Aristóteles e a escolástica, e procurou compor uma filosofia associada à matemática, onde observação e interpretação são legitimadas pela demonstração empírica.

Galileu é considerado um fundador do método experimental. Galileu foi menos radical em seus ideais e mais abrangente na prática. Combinando a experimentação com a matemática, contribuiu com consideráveis avanços na física e na astronomia. Observou que os candelabros da torre de Pisa balançavam com as correntes de ar e, com base nas batidas de seu pulso, mediu o tempo que levavam os percursos do maior e menor arco descrito pelo balanço do candelabro. Assim, descobriu a propriedade da constância do movimento pendular. Realizou experiências meticulosas sobre a trajetória de vôo de

projéteis e sobre a queda dos corpos, construiu um telescópio e com esse instrumento estudou a Lua, a Via Láctea, os anéis de Saturno e, com observações detalhadas, comprovou a idéia heliocêntrica de Copérnico.

Apesar de suas diferenças de idéias e contribuições, Bacon, Descartes e Galileu compartilharam um compromisso comum com referência ao mundo natural e seu estudo. Eles viam a natureza como despida de propriedades espirituais e humanas. Não poderia haver diálogo com ela, quer através de iluminação mística ou de autoridade inspirada. Em vez disso, ela tinha que ser investigada prudente e impessoalmente, através de experiência sensitiva e razão. Fenômenos estranhos e prodigiosos, como terremotos, curas misteriosas e deformações de nascença, que haviam sido temas de especulação até então, eram considerados de menos significância do que observações regulares e repetidas. O cuidado e a autodisciplina eram necessários tanto na observação como na teorização, e o trabalho cooperativo era importante para a continuada acumulação e teste de resultados.

O propósito de sabedoria contemplativa da ciência foi substituído pelo objetivo de dominação da natureza em benefício do homem. O estabelecimento de sociedades científicas foi um produto direto das novas concepções de conhecimento do mundo natural e dos métodos de persegui-lo.

As novas idéias da ciência frutificaram no século 17 e conduziram a rápido progresso do conhecimento em alguns campos, mas tiveram desenvolvimento lento em outros. Assim, as concepções modernas tiveram início na ótica com Johann Kepler, e na eletricidade e no magnetismo com Gilbert. No fim desse século, Isaac Newton (1642-1727) formulou a lei da atração universal, a lei da gravidade e trouxe um novo rigor aos métodos da pesquisa experimental.

1.4.4 A ciência no século 18

As contribuições de Newton dominaram a ciência no século 18. Os desenvolvimentos científicos desse século foram principalmente de consolidação.

No início desse período, a atividade científica era desenvolvida em pequena escala, principalmente por homens de posses e profissionais bem treinados, tais como físicos e engenheiros, em suas horas vagas. As ciências matemáticas (matemática, astronomia, mecânica e ótica) estavam bem desenvolvidas, mas a física ainda era um conjunto de experimentos isolados com teorias qualitativas e principalmente especulativas, a química era quase totalmente empírica, e a biologia dava atenção principalmente a atividades de coleta. Antes do fim do período, já havia exemplos bem sucedidos de trabalho científico bem organizado, e tinham sido estabelecidas as bases para teorias coerentes e eficientes em quase todas as áreas da ciência.

A tecnologia da força foi a primeira a receber influência da aplicação de desenvolvimentos científicos anteriores. A máquina a vapor e vácuo (1717), inventada pelo inglês Thomas Newcomen (1663-1729), originou-se da pneumática do século 17.

No fim do século 18, teve início a revolução industrial que transformou a Europa de uma sociedade agrária em uma sociedade urbana. Na mesma época, a revolução francesa introduziu as políticas modernas de liberdade e democracia. As atividades científicas tiveram semelhantes mudanças: nessa época foram estabelecidos os fundamentos sociais e institucionais para o amadurecimento da ciência no século 19.

O estilo dominante da ciência na época da Revolução Francesa era matemático. Nessa época destacaram-se alguns matemáticos franceses, como Pierre-Simon Laplace (1749-1827), Joseph Louis Lagrange (1736-1813), Gaspar Monge (1746-1818), Jean Baptiste Fourier (1768-1830), Siméon Denis Poisson (1781-1840) e Augustin Louis Cauchy (1789-1857). Os grandes matemáticos suíços Jacques Bernoulli (1654-1705), Daniel Bernoulli (1700-1782) e Leonard Euler (1707-1783) desenvolveram o cálculo diferencial e integral, inventado pelo alemão Gottfried Leibnitz (1646-1716). Mesmo na

química, a reforma da nomenclatura alcançada por Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) e seus colaboradores foi de estilo matemático e abstrato.

1.4.5 A ciência no século 19

O século 19 surge como uma idade de ouro. A ciência expande-se com sucesso em novos campos de investigação, incluindo uma combinação de matemática e experimento em física, a aplicação de teoria ao experimento em química, e experimentação controlada em biologia. Esse progresso era grandemente impulsionado pela reforma de universidades e o estabelecimento de novas universidades, onde a pesquisa era encorajada, assim como o ensino, e pela comunicação através de sociedades científicas e revistas especializadas. Reuniões nacionais e internacionais tornavam-se comuns no fim desse século. Tornou-se efetivo o princípio de pesquisa socialmente organizada, em lugar de pesquisas por indivíduos isolados. Em todos os campos do conhecimento houve um crescente rigor de metodologia e aprofundamento de erudição. Durante esse século, os progressos nos principais ramos da ciência experimental foram tão grandes que em retrospecto o seu estado anterior parece rudimentar. A física alcançou a estreita união da experimentação precisa com a teoria matemática abstrata que trouxe profundidade de conhecimento e poder na aplicação desse conhecimento sem precedentes. Diferentes campos foram sucessivamente unificados pelo conceito de energia. A termodinâmica uniu as ciências do calor e trabalho e propiciou o desenvolvimento de uma teoria de alterações químicas. A eletricidade e o magnetismo foram unidos, inicialmente pela experimentação e então teoricamente, e foi observado que uma constante fundamental da teoria do eletromagnetismo, determinada pelo alemão Wilhelm Weber (1804-1891), era igual à velocidade da luz, determinada astronomicamente pelo inglês James Clerk Maxwell (1831-1879). Dessa forma, as propriedades gerais da matéria foram sucessivamente compreendidas e tornadas coerentes.

No início do século 19, o físico e químico inglês John Dalton (1766-1844) formulou a teoria atômica da matéria, divulgada em sua obra "The new system of chemical philosophy", publicada em 1808. A química passou a ser construída sobre as bases teóricas da nomenclatura de Lavoisier e a teoria atômica de Dalton, e despendeu algumas décadas na tarefa de classificar substâncias em elementos e compostos. Na Alemanha, Friedrich Kekulé (1829-1896) descobriu a estrutura verdadeira de compostos orgânicos, com as ligações alternativas do anel benzênico. Então, Lothar Meyer (1830-1895), na Alemanha, e Dmitri Mendeleev (1834-1907), na Rússia, dominaram a estrutura da tabela periódica dos elementos e puderam prever as propriedades de elementos desconhecidos. A partir de então, a química passou a alcançar uma unidade mais próxima com a física e a adquirir um potencial crescente para aplicações industriais.

Os progressos em biologia foram igualmente extraordinários. A abordagem experimental foi inicialmente desenvolvida com sucesso em fisiologia, principalmente pela escola de Johannes Müller (1801-1858), na Alemanha, e por Claude Bernard (1813-1878) e Louis Pasteur (1822-1895), na França. Na Inglaterra, Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Russell Wallace (1823-1913) conceberam a seleção natural pelo princípio da sobrevivência do mais forte e estabeleceram a teoria da evolução (1859). Na Áustria, o monge e botânico Gregor Johann Mendel (1822-1884) estabeleceu as leis básicas da hereditariedade.

1.4.6 A ciência no século 20

Algumas tendências do século 19 tornaram-se mais salientes no início do século 20. Nessa época, a ciência tornou-se cada vez mais profissional em sua organização social. Quase toda pesquisa era executada por especialistas altamente treinados, empregados exclusivamente ou principalmente para esse trabalho em instituições especializadas. As comunidades de cientistas, organizadas por disciplinas, gozavam de um alto grau de autonomia no estabelecimento de objetivos e padrões de pesquisa, e na

certificação, emprego e atribuição de recompensas de seus membros. Forçados pela competição, os cientistas tendem a se tornarem pesquisadores muito especializados. O estilo dominante desse período era reducionista: as pesquisas eram concentradas principalmente em processos artificialmente puros, estáveis e controláveis, obtidos em laboratório, e as teorias favoritas eram aquelas que envolviam as causas físicas mais simples, usando argumentos matemáticos. Os desenvolvimentos científicos dessa época eram modelados segundo os padrões da física teórica.

O espírito positivo dessa ciência era mostrado pela sua crescente separação da reflexão filosófica. As teorias da relatividade (1905 e 1916) de Albert Einstein (1879-1955) e o princípio da incerteza na teoria quântica (1927) do físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) levantaram vigorosas discussões filosóficas.

As realizações científicas do início do século 20 são demasiadamente imensas para serem enumeradas. Entretanto, pode-se destacar um padrão comum de avanço. Em cada um dos campos mais importantes o progresso baseou-se no bem sucedido trabalho descritivo do século 19. A atividade científica dirigiu-se inicialmente para uma análise mais refinada dos constituintes e de seus mecanismos e, então, para sínteses que originaram os nomes de disciplinas híbridas, tais como bioquímica e biofísica. Na física, as teorias clássicas das principais forças físicas (calor, eletricidade e magnetismo) foram unificadas pela termodinâmica; e no início do século surgiram descobertas completamente novas (raios X e radioatividade, por exemplo) e a penetração na estrutura da matéria (teoria atômica e isotopia). Essas descobertas demandaram a revisão das leis fundamentais da física e algumas de suas pressuposições metafísicas (relatividade e teoria quântica). Métodos químicos tornaram-se necessários para muitos desses trabalhos em física. Por outro lado, as novas teorias físicas eram suficientemente poderosas para prover explicações efetivas para uma ampla variedade de fenômenos químicos. Com base nessas descobertas, a indústria química produziu uma grande variedade de substâncias totalmente sintéticas (fibras e plásticos, por exemplo).

Nas ciências biológicas, os métodos físicos e químicos contribuíram para descobertas e explicações de agentes engenhosos (vitaminas, hormônios) e a reconstrução de ciclos complexos de transformações químicas por meio das quais a matéria vive. A ciência médica pôde desenvolver a bacteriologia e, através da descoberta de drogas específicas e gerais, ela reduziu de modo acentuado as doenças epidêmicas clássicas e as doenças cruéis da infância.

Até o final desse século, os avanços científicos continuaram a crescer em todas as áreas, de modo tão vertiginoso que se torna impossível catalogá-los; apenas para ilustração: no transporte culminaram com a viagem à Lua e lançamento de satélites e sondas para exploração espacial; na saúde, com o controle de muitas doenças e o aumento da longevidade; nas comunicações, com o uso em larga escala da Internet.

Exercícios 1.1

1. Qual é a origem do conhecimento empírico? Como é ele adquirido e consolidado?
2. Como o conhecimento mítico sucede ao conhecimento empírico?
3. Explique a origem e os fundamentos do conhecimento religioso.
4. Explique as origens, as características e o significado do conhecimento filosófico.
5. Quais são as origens do conhecimento popular, comum ou ordinário?
6. Qual é a origem do conhecimento científico?
7. Como o conhecimento científico chega ao homem comum?
8. Caracterize as distinções essenciais entre conhecimento científico e conhecimento popular.
9. Qual é a relação entre a ciência e as escolas filosóficas do racionalismo e empirismo?
10. Caracterize as distinções da ciência em relação às escolas filosóficas do pragmatismo e do determinismo.
11. Explique as fontes de influência que originaram a ciência moderna na pós-renaissance.
12. Descreva a origem do método científico moderno.

1.5 Método Científico

A ciência é freqüentemente definida como uma "acumulação de conhecimentos sistemáticos". Essa definição inclui três termos básicos da caracterização da ciência. Todavia ela é inadequada, como outras definições que ressaltam o conteúdo da ciência em vez de sua característica fundamental: seu método de operação. Isso é inconveniente, pois o conteúdo da ciência está mudando constantemente, dado que conhecimento considerado científico hoje pode tornar-se não científico amanhã. Além disso, a demarcação entre ciência e não-ciência não é óbvia. Realmente, ela não é uma linha nítida, mas uma área móvel e sujeita a debates.

A ciência visa à compreensão do mundo em que o homem vive, o conhecimento da realidade. Assim, ela é fundamentalmente um método de aproximação do mundo empírico, isto é, do mundo suscetível de experiência pelo homem. O consenso em relação aos atributos e processos essenciais do método da ciência permite uma conceituação funcional da ciência através de seu método, como segue:

A **ciência** é um método objetivo, lógico e sistemático de análise dos fenômenos, criado para permitir a acumulação de conhecimento fidedigno.

Para a melhor compreensão desta definição de ciência é conveniente a explicação de seus termos chaves:

Método. Uma controvérsia surge freqüentemente quanto à unicidade do método científico. Pode-se argumentar que esta não é uma questão conceitual, mas um problema principalmente semântico que decorre dos vários significados atribuídos à palavra "método". De fato, embora os vários campos da ciência difiram em conteúdo e em técnicas, um exame de toda ciência altamente desenvolvida revela uma base comum de procedimentos de investigação, que constitui o método geral da ciência. A implementação desse método em áreas particulares da ciência usualmente requer técnicas e procedimentos específicos, que constituem os métodos particulares da ciência.

Objetivo. A objetividade na ciência se refere a atitudes despidas de capricho pessoal, tendenciosidade e pré-julgamento, a métodos para o descobrimento de qualidades publicamente demonstráveis de um fenômeno e ao princípio de que o último recurso de um argumento especulativo é o fenômeno objetivo, ou seja, uma observação ou experiência que possa ser verificada publicamente por observadores treinados. A evidência em ciência é fatural, não conjuntural, e a "verdade" é obtida pela demonstração empírica. Embora a ciência seja praticada por indivíduos, o método científico inspira um modo de proceder rigoroso e impessoal, ditado pelas exigências de procedimentos lógicos e objetivos. O cientista busca, constantemente, esse modo de proceder pelo treinamento e pelo uso de instrumentos de objetivação que lhe permitam olhar seus dados com o mínimo possível de tendenciosidade.

Lógico. Dizer que a ciência é um método lógico significa que o cientista é constantemente guiado por regras aceitáveis de raciocínio padronizadas por lógicos reputados. Competência em ciência requer competência em análise lógica. Regras de definição, formas de inferência dedutiva e indutiva, teoria da probabilidade, cálculo, etc., são fundamentais em qualquer ciência reputada. A ciência é um arranjo sistemático de fatos, teorias, instrumentos e processos, inter-relacionados por princípios do raciocínio. Embora se possa agir em áreas aplicadas apreendendo e aplicando fórmulas, agir como cientista requer uma fundamentação completa em análise lógica, bem como proficiência e conhecimento de caráter fatural específico.

Sistemático. A ciência é uma forma sistemática de análise. A ciência procede de maneira ordenada, tanto na organização de um problema quanto nos métodos de operação. Ela não procede ao acaso ou acidentalmente. Essa é uma das características essenciais que distingue a abordagem científica. A análise não científica tende a ordenar

fatos diversos e freqüentemente não relacionados para a defesa de um argumento, violando princípios aceitáveis de inferência lógica. O procedimento sistemático inerente à abordagem científica toma a forma de uma seqüência de passos compactamente interligados e logicamente arranjados que permite poucos desvios. A verificação em ciência é um processo sistemático de inferência lógica que exige que premissas, fatos e conclusões sejam arranjados ordenadamente.

O caráter sistemático da ciência também implica em consistência interna. Em uma ciência bem desenvolvida, as várias teorias e leis são inter-relacionadas e corroborativas. Elas se apóiam mutuamente ou, pelo menos, não se contradizem. Uma ciência imatura é caracterizada por discordâncias internas de teorias, leis, proposições, princípios e, mesmo, de métodos. Saliente-se, entretanto, que consistência completa e final nunca é atingida, mesmo nas ciências mais avançadas. Novas descobertas sugerem novas leis, princípios e teorias, que, por sua vez, requerem a modificação de noções de realidade estabelecidas.

Fenômenos. O método científico é aplicável a qualquer fenômeno, ou seja, a qualquer evento ou comportamento que possua atributos ou conseqüências demonstráveis objetivamente. Se um evento é presumido como inerentemente subjetivo (por exemplo, uma idéia, um sentimento, um sonho), então ele não é tratável pela análise científica, a menos que sua presença possa ser demonstrada por meio de atributos ou conseqüências objetivas. Embora os fenômenos estudados pela ciência sejam publicamente verificáveis, não se deve entender que tais objetos de pesquisa sejam o único interesse da ciência. O método científico é construído sobre uma base de abstrações ideais (isto é, noções, idéias, teorias, leis, princípios, etc.) destinada a relacionar e explicar objetos e eventos observáveis. Muito do conteúdo da ciência consiste de noções intelectuais sobre cousas e eventos. Mas o objeto de todos tais pensamentos é o fenômeno particular sob estudo.

Criado. A ciência é um sistema criado pelo engenho humano constituído de conhecimento fatural diverso sintetizado em um conjunto inter-relacionado e lógico. Por sua vez, o método científico é uma criação para servir a um propósito particular: o desenvolvimento e arranjo ordenado desse conhecimento e de idéias referentes à realidade na forma que parece a mais frutífera para os fins a serem servidos. Como é criado para servir a um propósito particular, o método científico pode ser alterado quando novas idéias sugerem modificações. Deve-se observar que o homem arranja seu pensamento referente ao mundo em que vive segundo várias preferências, e o método científico é o arranjo que até agora se tem revelado o mais frutífero para a explicação de fenômenos objetivos.

Acumulação. A ciência é um sistema acumulativo e integrado, construído de modo ordenado, onde cada fato, lei, teoria, princípio, etc. suporta outros fatos, leis, teorias, etc. Mas a ciência não é uma mera acumulação de conhecimento. O conhecimento científico é dinâmico, não estático. A ciência procura, sempre, conhecimento adicional, na crença de que o conhecimento nunca é completo. A "verdade" em ciência é sempre relativa e temporal, nunca absoluta e final. Em contraste com muitos sistemas filosóficos e ideológicos fechados, a ciência se caracteriza como um sistema de idéias aberto. Por isso, ela cresce constantemente, descartando noções errôneas ou inúteis e substituindo-as por outras mais corretas e úteis à luz de novas evidências.

O atributo acumulativo da ciência não deve significar que ela cresce por simples adição. A história da ciência mostra que explicações e designações complexas estão sendo constantemente substituídas por explicações e terminologias cientificamente mais simples e mais precisas. Esse princípio de parcimônia da ciência determina que o cientista deve permanentemente esforçar-se para obter explicações que envolvam o mínimo possível de termos, atributos, conceitos e fórmulas. Assim, uma função importante da ciência é a explicação dos fenômenos de modo tão parcimonioso quanto possível. O atributo acumulativo e o princípio de parcimônia são intimamente interligados. De fato, a ciência esforça-se, constantemente, para a predição do comportamento de

fenômenos ainda não observados, com base nas qualidades comuns conhecidas que eles possuem como membros de uma classe de fenômenos. Conjuntamente, acumulação, ordenação e parcimônia permitem que possa ser feito um número elevado de predições específicas a partir de poucas leis básicas e gerais.

O termo “reducionismo” tem sido empregado em discussões desse amplo princípio de parcimônia. O reducionismo se refere à prática geral de procurar abarcar tantas subteorias quando possível em categorias mais amplas e mais inclusivas de “grandes teorias”. Embora muito do conhecimento científico em um dado momento seja temporariamente não relacionado ou coordenado, o cientista se esforça, constantemente, para relacionar fatos isolados em conjuntos ou modelos significativos. A história da ciência mostra que com o tempo tais modelos tornam-se integrados em sistemas mais amplos de fatos e idéias (“teorias”) que permitem maior amplitude de explicações do que seria possível se os fatos segmentados fossem utilizados isoladamente.

Conhecimento fidedigno. No presente contexto, conhecimento fidedigno se refere a conhecimento confiável em termos de predição. Nesse sentido, conhecimento fidedigno significa conhecimento correto. A ciência se empenha, constantemente, pela exatidão. Ela não se satisfaz com meias-verdades e é intolerante com procedimentos descuidados. De fato, a ciência progride na medida em que suas medições e cálculos se tornam mais refinados. Saliente-se, entretanto, que precisão e exatidão não são um fim em si. Elas são relativas apenas aos propósitos a que servem, isto é, à promoção de descrições mais específicas, que permitam predição ou controle fidedigno.

Admitidamente, grande parte do conhecimento popular é fidedigno no sentido de que muito do comportamento comum é previsível com base nos costumes, experiência, etc. Entretanto, muito da previsão popular, quando exata, o é simplesmente por mera chance. A função do método científico é a compreensão dos fenômenos de tal modo que a razão e o alcance de previsões exatas possam ser constantemente aumentados. Presumivelmente, é apenas através de um sistema de conhecimentos válido e organizado, tal como a ciência, que previsões podem ser efetivamente estendidas além da experiência limitada de um grupo de indivíduos particular e simples.

A ciência é um processo lógico de investigação para a solução de problemas e a busca de respostas a questões referentes a fenômenos naturais. Através do método científico, os cientistas tentam a geração de um corpo de conhecimento livre de crenças, percepções, valores, atitudes e emoções pessoais. Isso é logrado através de verificação empírica de idéias e crenças por procedimento aberto à inspeção pública. A confiabilidade do conhecimento científico deriva de sua base em evidência provida por observação objetiva.

1.6 Estratégia e Tática da Ciência

O método científico é o procedimento geral da ciência aplicado no processo de aquisição de conhecimento, independentemente do tema em estudo. Entretanto, cada classe de problemas de conhecimento requer o desenvolvimento e a aplicação de procedimentos especiais adequados para os vários estágios do tratamento dos problemas, desde o enunciado desses até o controle das soluções propostas. São exemplos desses procedimentos ou técnicas especiais a análise colorimétrica para a determinação de características físico-químicas de uma substância e a análise de vigor para a determinação da qualidade fisiológica da semente.

1.6.1 Estratégia científica

O método científico compreende um conjunto ordenado de operações para a caracterização e solução de problemas, que é comum a todas as áreas da ciência. Assim, o método científico constitui a estratégia da ciência para a geração de conhecimento. Essa estratégia é ilustrada pelo **Exemplo 1.1**.

Exemplo 1.1

Suponha-se a seguinte questão: Porque a produtividade do trigo no Rio Grande do Sul é baixa? Uma resposta simples a essa questão poderia ser derivada da observação empírica de que as condições ambientais nesse Estado são desfavoráveis ao cultivo do trigo. Pesquisadores científicos desse problema não se satisfariam com explicações simples e genéricas como essa, e iniciariam pelo exame crítico do próprio problema, antes de tentarem a busca de uma solução para ele. De fato, aquela pergunta implica uma generalização empírica que pode ser refinada através de sua decomposição em perguntas menos gerais, como as duas seguintes: Sob que circunstâncias ambientais (referentes a solo, clima, incidências de doenças e pragas, etc.) a produtividade tem sido baixa? Nessas circunstâncias, quais são as características relevantes das técnicas de cultivo de trigo (cultivares utilizadas, tratamentos fitossanitários, fertilização e correção do solo, etc.) que podem ter implicações sobre a produtividade? As questões postas dessa forma ainda são demasiadamente vagas e podem ser mais refinadas através da formulação de perguntas mais específicas, tais como: A produtividade tem sido mais baixa em anos de temperatura e umidade relativa elevadas durante o ciclo vegetativo do trigo? Em que estádios do desenvolvimento da planta essas condições são mais adversas? Em que estádios de seu desenvolvimento a planta é mais suscetível a essas condições climáticas? Essas condições de clima favorecem o desenvolvimento de doenças fúngicas do trigo? Quais doenças fúngicas? As cultivares em uso são suscetíveis a essas condições de clima? São elas suscetíveis a essas doenças fúngicas?

Assim, uma análise do problema inicial demasiadamente genérico e vago – baixa produtividade do trigo no Rio Grande do Sul – conduz a um conjunto de problemas mais específicos que têm implicações negativas sobre a produtividade do trigo nesse Estado; por exemplo, suscetibilidade de cultivares de trigo a temperatura e umidade relativa elevadas; incidência de doenças fúngicas; incidência da ferrugem; suscetibilidade de cultivares a doenças fúngicas. Cada problema ou pergunta simples e precisa que possa ser passível de solução ou resposta com o conhecimento científico atual e os recursos disponíveis constitui um **problema científico** ou **problema de pesquisa**.

Cada problema científico suscitará uma ou mais conjeturas de solução ou resposta. Considere-se, por exemplo, o seguinte problema: prejuízo à produtividade do trigo decorrente da incidência da ferrugem. Esse problema pode suscitar diversas conjeturas, tais como: a) temperatura e umidade relativa elevadas favorecem a incidência da ferrugem; b) a ocorrência da ferrugem pode ser controlada através de fungicidas; e c) a incidência da ferrugem pode ser evitada com o uso de cultivares resistentes. Cada uma dessas conjeturas que possa ser verificada empiricamente constitui uma **hipótese científica** ou **hipótese de pesquisa**.

Então, cada uma dessas conjeturas poderá ser verificada empiricamente através de suas conseqüências. Por exemplo, a) se elevadas temperatura e umidade relativa são determinantes da incidência da ferrugem e conseqüente diminuição da produtividade, então lavouras de trigo que difiram quanto àquelas características devem apresentar diferentes graus de incidência de ferrugem e diferentes níveis de produtividade; b) se fungicidas controlam a incidência da ferrugem, então lavouras com fungicidas eficazes devem ser mais produtivas que lavouras sem esses fungicidas ou com fungicidas ineficazes; c) se a suscetibilidade à ferrugem é um determinante importante da produtividade baixa, então lavouras que difiram quanto a cultivares com níveis diferentes de suscetibilidade (ou de resistência) e sejam semelhantes quanto às demais características devem ter níveis de produtividade diferentes.

A verificação de cada hipótese científica poderá ser procedida através de uma **pesquisa científica** que compreenderá a observação e coleta ou reunião de dados por meios científicos. Por exemplo, na presente ilustração, através de: a) uma pesquisa conduzida em lavouras, em diversos locais e em vários anos, com variação natural de temperatura e umidade relativa; b) uma pesquisa com fungicidas disponíveis e um controle (sem fungicida); c) uma pesquisa com cultivares disponíveis com diferentes níveis de suscetibilidade (ou resistência) à ferrugem.

Finalmente, em cada pesquisa particular, serão avaliados os méritos das alternativas de sua hipótese, o que poderá conduzir a refutação ou não refutação dessa hipótese. Se as observações coletadas ou reunidas pela pesquisa não concordarem com as conseqüências derivadas da hipótese, a hipótese será refutada. Caso contrário, ou seja, se essas observações se colocarem em linha com a hipótese, a hipótese não será refutada. Nesse último caso, procederá dizer-se que as observações corroboraram a hipótese. Observe-se, entretanto, que uma hipótese jamais é comprovada, pois estará sempre sujeita a ser refutada por uma observação futura.

Então, o conhecimento científico derivado será incorporado ao corpo de conhecimento anterior.

Se uma hipótese for refutada, será necessária a formulação de outra hipótese e o reinício do procedimento; se ela for corroborada, será desejável sua ampliação ou aperfeiçoamento.

Em geral, se uma pesquisa for cuidadosa e imaginativa, a solução do problema que a originou suscitará um novo conjunto de problemas. As pesquisas mais importantes e férteis são aquelas capazes de desencadear novas questões e não as tendentes a levar o conhecimento à estagnação. De fato, a importância de uma pesquisa científica é avaliada pelas alterações que produz no corpo de conhecimento e pelos novos problemas que suscita.

O **Exemplo 1.1** ilustra o procedimento geral da ciência para aquisição de conhecimento. Nesse processo pode-se distinguir a seguinte seqüência de operações:

- 1) Enunciação de perguntas bem formuladas e férteis – problemas científicos.
- 2) Formulação de conjeturas bem fundamentadas que possam ser submetidas à prova através de experiência, para responder as perguntas – hipóteses científicas.
- 3) Derivação de conseqüências lógicas das conjeturas.
- 4) Verificação empírica das conjeturas.
- 5) Análise e interpretação dos resultados da verificação das conjeturas – avaliação da pretensão de verdade das conjeturas.
- 6) Determinação dos domínios para os quais valem as conjeturas, incorporação do novo conhecimento científico ao corpo de conhecimento disponível, e formulação de novos problemas originados da pesquisa.

Esse processo do método científico é esquematizado na **Figura 1.1**.

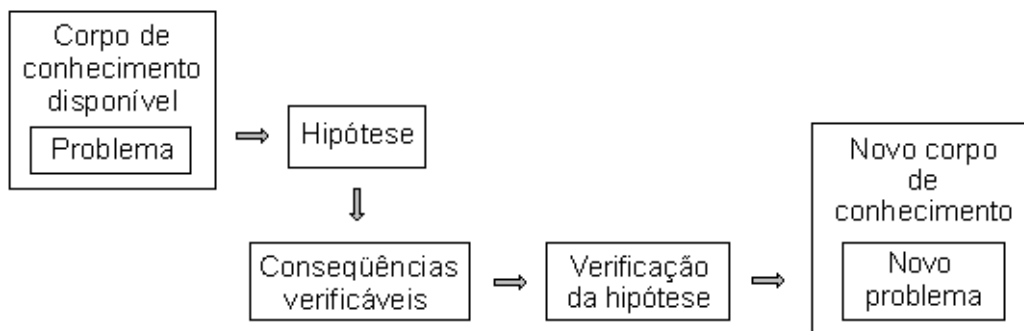


Figura 1.1. Representação esquemática do processo do método científico.

Em resumo, o método científico inicia com o exame do conhecimento existente e a identificação de um ou mais problemas de interesse. Para cada um desses problemas é formulada uma ou mais hipóteses. Então, cada uma dessas hipóteses é examinada para a derivação de previsão lógica de conseqüências que possam ser verificadas objetivamente. A próxima etapa é a verificação objetiva de cada uma dessas hipóteses através de novas observações. Se essa verificação empírica objetiva confirma a previsão referente a uma hipótese particular, acumula-se evidência em favor dessa hipótese e ela é aceita como um fato, incorporando-se ao corpo de conhecimento existente. Sua vida subsequente pode ser breve ou longa, pois, constantemente, novas deduções podem ser extraídas e comprovadas, ou não, por meio de observação empírica objetiva. Essa propriedade circular do método científico é ilustrada na **Figura 1.2**.

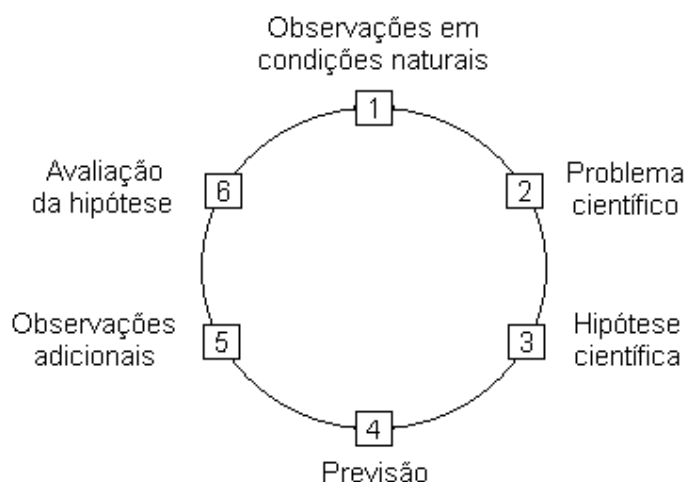


Figura 1.2. Diagrama que ilustra a propriedade circular do método científico.

O processo fundamental do método científico pode ser resumido como uma repetição cíclica de fases de síntese, análise e síntese. O método científico para a solução de um problema genérico referente a um fenômeno inicia com uma visão global desse fenômeno (**síntese**). Entretanto, mesmo as partes mais restritas do universo são demasiadamente complexas para serem compreendidas globalmente e de modo completo pelo esforço humano. Torna-se necessário ignorar muitos dos aspectos do fenômeno e abstrair uma sua versão idealizada, com a expectativa de que ela seja uma aproximação útil. Frequentemente, certas características dessas idealizações são alteradas para simplificação. Essa idealização é, então, decomposta em um número de partes relativamente simples nas quais possam ser identificados problemas específicos para tratamento separado (**análise**). Basicamente, essa decomposição visa à identificação de partes independentes, ou que interajam de modo simples. Quando os problemas referentes a essas partes são solucionados, o novo conhecimento é integrado ao corpo de conhecimento existente (**síntese**).

1.6.2 Tática científica

O método científico é a estratégia comum da ciência. Entretanto, a execução concreta de cada uma das operações do método científico em uma pesquisa particular requer uma tática particular que compreende um conjunto de técnicas que dependem do tema e do estado do conhecimento referente a esse tema. Essas técnicas específicas mudam muito mais rapidamente que o método geral da ciência. Além disso, muito frequentemente, são utilizáveis apenas em campos particulares da ciência. Assim, por exemplo, a determinação dos sintomas de deficiência nutricional de plantas de arroz exige técnicas essencialmente diversas das necessárias para a obtenção de plantas resistentes à infecção com um vírus. A resolução efetiva do primeiro problema dependerá do estado em que se encontre a teoria da nutrição de plantas, enquanto que a do segundo dependerá do estado da teoria da resistência a doenças.

As técnicas científicas podem ser classificadas em conceituais e empíricas.

As **técnicas conceituais** fundamentam-se em definições, axiomas, postulados, leis e teorias. As **técnicas empíricas** relacionam-se com a observação e a avaliação de características de fenômenos naturais através de observação e mensuração.

As técnicas conceituais permitem formular problemas de modo preciso, enunciar as correspondentes conjeturas ou hipóteses, estabelecer os procedimentos para deduzir conseqüências a partir das hipóteses e verificar se as hipóteses propostas solucionam os correspondentes problemas. A matemática oferece o conjunto mais rico e poderoso

dessas técnicas. Essas técnicas também são poderosas na pesquisa científica de fenômenos naturais. Entretanto, sua aplicação requer que o conhecimento científico esteja suficientemente consolidado para ser suscetível de tradução e tratamento matemático. Por outro lado, o domínio da maior parte das técnicas empíricas depende apenas de adestramento. Entretanto, é necessário talento para sua aplicação a problemas novos, para a crítica das técnicas conhecidas e, particularmente, para o desenvolvimento de técnicas novas e melhores.

Exercícios 1.2

1. Qual é o inconveniente de definir a ciência através de seu conteúdo, ou seja, do corpo de conhecimento científico?
2. Qual é o significado de cada um dos termos “objetivo”, “lógico” e “sistemático” na definição da ciência através de seu método?
3. Qual é o significado de “fenômeno” (natural)?
4. Explique o atributo cumulativo da ciência.
5. O que significa “conhecimento fidedigno”? Qual é a relação entre conhecimento fidedigno e verdade?
6. Ilustre a estratégia da ciência através de exemplo de sua área.
7. Descreva os passos seguidos para a aquisição de conhecimento através do método científico.
8. Identifique as fases de síntese, análise e síntese de um ciclo do método científico no exemplo utilizado na resposta ao exercício 6.
9. Em que consiste a análise no processo do método científico? Porque ela é essencial?
10. Ilustre o significado de técnica científica através de exemplos de sua área.
11. Qual é a distinção básica entre método científico e técnica científica?
12. Qual é a distinção básica entre técnica científica conceitual e técnica científica empírica?

1.7 Objetivos e alcance da ciência

A ciência tem dois objetivos fundamentais. Em primeiro lugar, o incremento do conhecimento - objetivo intrínseco, ou cognitivo; em segundo lugar, o aumento do bem estar do homem e de seu domínio sobre a Natureza - objetivo extrínseco, ou derivado.

A ciência com objetivo puramente cognitivo é denominada **ciência pura**. A **ciência aplicada** ou **tecnologia** utiliza o mesmo método geral da ciência e vários de seus métodos especiais, mas os aplica com fins práticos.

São exemplos de ciência pura a física, a química, a biologia e a psicologia; de ciência aplicada, a engenharia elétrica, a bioquímica, a agronomia, as medicina humana e veterinária e a pedagogia.

Essa divisão da ciência é freqüentemente questionada, com o argumento de que a ciência visa, em última instância, a satisfação das necessidades de alguma natureza. Entretanto, ela está relacionada aos objetivos das várias áreas da ciência e explica as diferenças de atitude e de motivação entre o cientista que busca entender melhor a realidade e o cientista que busca melhorar o domínio sobre ela.

A ciência é fundamentalmente um método de aquisição de conhecimento fidedigno. Na busca desse objetivo, o que ela alcança - o conhecimento científico, é um conhecimento teórico, ou seja, uma interpretação da realidade, não a própria realidade. Essa interpretação teórica é freqüentemente expressa em termos de condições ou formas ideais ou perfeitas; por exemplo, uma síntese perfeita de duas ou mais substâncias químicas, denominada “solução”, um espaço absolutamente sem matéria, denominado “vácuo”, e uma figura absolutamente redonda, denominada “círculo”. Essas formas conceivelmente ideais constituem **modelos**. Esses modelos são apenas aproximações e, portanto, interpretações tentativas da realidade. A função da ciência é o

esforço constante para refinar e melhorar tais modelos, de modo que eles possam aproximar continuamente a realidade em termos de evidência empírica crescente e mais refinada.

A ciência é baseada em fatos. Um **fato científico** é uma proposição referente a propriedades ou características de um fenômeno que foi verificada empírica e objetivamente através do método científico. Entretanto, fatos na ciência não são interpretados e empregados isoladamente. Ao contrário, são inter-relacionados de modo significativo através de **teorias científicas** para sugerir relações causais, como a teoria mendeliana da herança e a teoria newtoniana do movimento. Fatos científicos podem ser empregados para: a) sugerir novas teorias; b) sugerir revisão ou rejeição de teorias existentes; e c) redefinir ou esclarecer teorias. Assim, os fatos científicos são os elementos básicos que constituem os alicerces do conhecimento confiável e a teoria científica, a superestrutura desse conhecimento.

A relação entre teoria e fato pode não ser direta. Um conjunto inter-relacionado de fatos pode constituir uma regularidade empírica e ser formulado como uma **lei científica**, como a lei da inércia e a lei da gravidade. Entretanto, uma teoria científica é uma declaração explicativa sintética generalizada da causa de um fenômeno ou da inter-relação entre classes de fenômenos. Além de explicar ou levar em conta de modo sistemático as relações entre fatos e leis, a teoria científica também tem a função de servir como explicação unificadora para a possível dedução de hipóteses. Assim, hipóteses dedutíveis da teoria são intermediárias entre fatos e teorias, como também o são leis científicas que inter-relacionam fatos verificados (**Figura 1.3**).

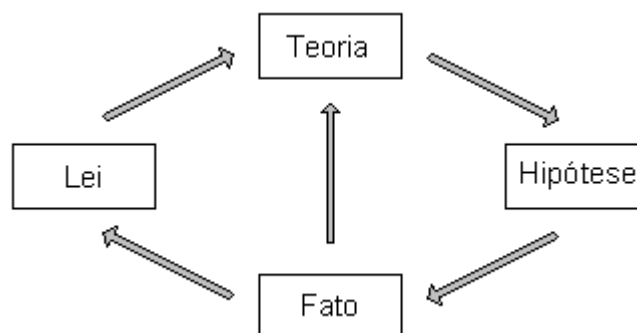


Figura 1.3. Relações entre teoria, hipótese, lei e fato.

A ambição da ciência é o desenvolvimento de teorias frutíferas que abranjam a gama mais ampla possível de fenômenos. De fato, o objetivo básico da ciência é a criação de teorias que permitam explicar ou predizer fenômenos. A criação de teorias é desenvolvida através da pesquisa científica.

A teoria na ciência tem as seguintes funções:

- orientar a pesquisa – ela reduz a amplitude de fatos a serem utilizados e ao mesmo tempo determina que tipos de fatos serão realmente relevantes para os propósitos da pesquisa;
- servir como um sistema tanto de conceituação como de classificação – ela permite a criação de conceitos referentes a processos importantes, a classificação de objetos relevantes (taxonomia) e a criação de estruturas de conceitos;
- permitir um resumo do que já é conhecido sobre um fenômeno, tornando possível um enunciado de generalização empírica ou a criação de sistemas de relações entre proposições (leis, princípios, axiomas);
- sugerir a predição de fatos; e
- salientar falhas no conhecimento existente.

É comum a idéia de que a ciência lida apenas com “fatos” e que sua função básica é pesquisar e revelar a “verdade”. Esta visão, embora próxima da correta, subestima o papel da ciência. A noção de verdade tem preocupado epistemólogos e filósofos por muitos séculos. A dificuldade de definir o termo “verdade” origina-se da suposição de que alguma coisa é uma verdade, basicamente, inerentemente ou necessariamente, ou não o é. Todavia, a história da experiência humana tem demonstrado muito claramente que o que em uma época é tido como inquestionavelmente verdadeiro pode vir a ser ulteriormente considerado como inquestionavelmente falso (por exemplo, o sol gira em torno da terra). Ademais, em qualquer época, grupos diferentes podem definir o mesmo (ou, pelo menos aparentemente, o mesmo) fenômeno de modo muito diferente. Por exemplo, para algumas pessoas é inquestionavelmente verdadeiro que os criminosos nascem maus, ou que os orientais são naturalmente habilidosos, enquanto que para outras tais noções não têm evidência substancial que as suporte. Esta dificuldade de definir “verdade”, devido à noção de verdade ou falsidade inerente, é evitada na ciência.

Um fato científico é uma asserção ou proposição de verdade fidedigna por ser suportada por evidência empírica objetiva. Não é uma asserção ou proposição de verdade certa. A verdade em ciência jamais é final ou absoluta. A fidedignidade de um fato científico é relativa à quantidade e ao tipo de evidência que a substancia. A razão porque todo conhecimento fatural em ciência é relativo em vez de absoluto é uma conseqüência de seu caráter experiencial. Fatos derivados de experiência conduzem a verdades prováveis, nunca a verdades certas, porque a experiência é infinita, e uma experiência futura pode requerer uma nova interpretação de um fenômeno. Como molduras de referência podem diferir entre cientistas, não é surpreendente encontrar disputas ocasionais referentes à validade de um fato afirmado. Por exemplo, segundo uma escola de psicologia, é um fato que o sonho é evidência de desejos subconscientes. Entretanto, críticos desse ponto de vista sustentam que a evidência de sonhos específicos não substancia o “fato” de que motivos subconscientes são responsáveis pelo conteúdo do sonho.

Dessa forma, a fidedignidade de um fato científico depende da aceitabilidade da evidência oferecida. Alguns fatos científicos são suportados por evidência objetiva e empírica inquestionável (por exemplo, a terra move em torno do sol em ciclos altamente regulares), enquanto que outros são suportados por evidência menos convincente (por exemplo, a fumaça é um agente causador de câncer). Por outro lado, algumas asserções fatuais são dúbias em termos de evidência científica (por exemplo, o homem é mais lógico do que a mulher), enquanto que outras são inquestionavelmente falsas (por exemplo, o uso de amuletos assegura tratamento preferencial de forças naturais).

A ciência busca estabelecer reconstruções conceituais da realidade através de fatos. Uma lei científica é uma reconstrução conceitual de uma estrutura objetiva; uma teoria científica é um sistema de tais enunciados. Mais do que isso, a ciência visa uma reconstrução conceitual das estruturas objetivas dos fenômenos, tanto dos atuais como dos possíveis, que permita a compreensão exata dos mesmos e, dessa forma, seu controle tecnológico. A cada passo, a ciência consegue reconstruções parciais, que são problemáticas e não demonstráveis. Com o progresso da ciência, essas reconstruções parciais vão se aproximando da realidade. Essa característica da abordagem científica é esclarecida pela seguinte versão simplificada do método científico, que é ilustrada pela

Figura 1.4:

- 1) observação de algum aspecto do universo;
- 2) proposição de uma descrição tentativa que seja consistente com o que foi observado, ou seja, de uma hipótese científica;
- 3) uso da hipótese para fazer predição;
- 4) teste desta predição através de novas observações e modificação da hipótese à luz dos resultados; e

- 5) repetição dos passos 3 e 4 até que não ocorram discrepâncias entre a teoria e as observações.

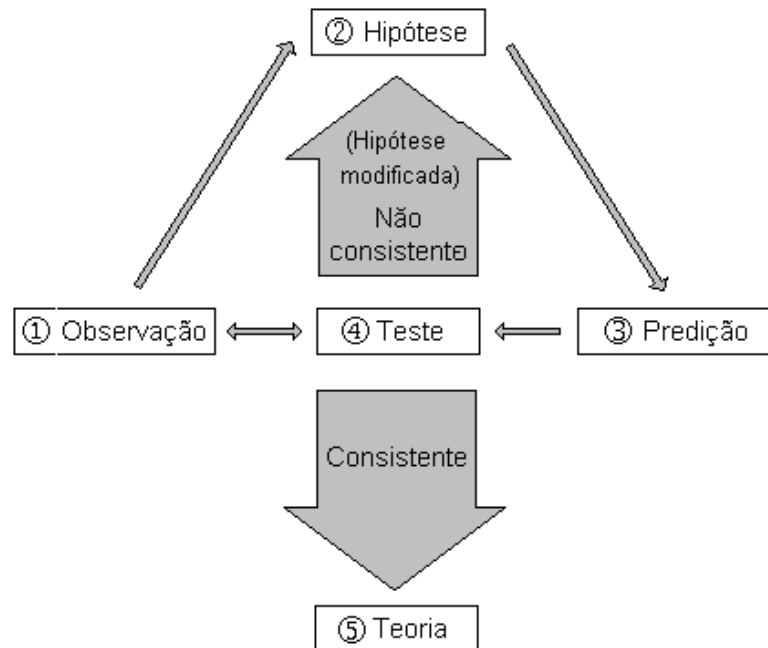


Figura 1.4. Versão simplificada do método científico que caracteriza a propriedade da teoria científica de aproximação continuada da realidade.

Quando é obtida consistência a hipótese torna-se uma teoria e prove um conjunto de proposições coerentes que explica uma classe de fenômenos. Assim, uma teoria é uma estrutura com base na qual são explicadas observações e feitas predições.

Esse processo de reconstrução do mundo mediante idéias e verificação de toda reconstrução parcial é infinito. A ciência não se propõe um objetivo definido e final, como a construção completa do conhecimento sem falhas. O objetivo da ciência é mais propriamente o aperfeiçoamento contínuo de seus principais produtos - as teorias, e meios - as técnicas.

Assim, o conhecimento científico não é simples acumulação de fatos, mas permanente revisão conceitual. Seu progresso se deve a um processo de contínua correção. A atividade científica pode ser considerada como uma tentativa permanente para diminuir o grau de empirismo e aumentar o alcance da teoria.

Em última instância, o objetivo da ciência é a compreensão da realidade. Mas há uma diferença essencial entre o nível de compreensão requerido pela ciência e o nível de compreensão logrado pelo conhecimento ordinário. A compreensão da parte do indivíduo comum consiste da habilidade de prover alguma explicação, mesmo que superficial, para a ocorrência de algum fenômeno. Assim, por exemplo, o homem comum tem conhecimento de eventos meteorológicos, originado da observação de suas ocorrências. Ele é capaz de identificar eventos que contribuam para a ocorrência de algum evento particular, como a chuva. Entretanto, somente a ciência tem sido capaz de desenvolver conhecimento detalhado referente a relações de eventos atmosféricos que permite a previsão do tempo com elevado grau de confiabilidade.

A ciência não se satisfaz com critérios superficiais. Ela demanda o exame detalhado de fenômenos. Um fenômeno é considerado conhecido apenas quando é descrito e explicado com elevada exatidão, de modo que possa ser predito e, se possível, controlado. No aprimoramento do conhecimento, a ciência persegue quatro objetivos sucessivos:

- descrição,
- explicação,
- predição e
- controle.

A **descrição** é a representação do fenômeno para a identificação de suas características essenciais; a **explicação** é a caracterização da razão da existência do fenômeno ou de sua causa; a **predição** é a antecipação do conhecimento do fenômeno antes de sua ocorrência; e o **controle** é a manipulação das condições que produzem um fenômeno.

O primeiro objetivo da ciência é a descrição. O conhecimento científico inicia-se com a descrição. Apenas após a aquisição do conhecimento das características relevantes do fenômeno, inicia-se a explicação de suas origens. O segundo objetivo é a explicação. A explicação requer a identificação das condições que resultam na ocorrência do fenômeno. O homem comum sabe que a chuva freqüentemente decorre de certas condições de nebulosidade e de direção de vento. O cientista é cauteloso e conservador. Ele reconhece que a maioria dos fenômenos tem muitas causas e que nova evidência pode requerer a substituição de uma explicação antiga por uma mais apropriada. Na medida em que o processo de pesquisa científica evolui, o conhecimento referente às causas dos fenômenos cresce e se aperfeiçoa. Com esse conhecimento crescente, surge a habilidade de predizer e possivelmente controlar os fenômenos.

O terceiro objetivo da ciência é a predição. O estabelecimento de predições requer o conhecimento das condições antecedentes do fenômeno. A previsão do tempo, por exemplo, requer o conhecimento das condições meteorológicas que o influenciam, tais como direção do vento, temperatura, umidade e pressão atmosférica. O avanço do conhecimento da relação de eventos meteorológicos permite que, na atualidade, possam ser efetuadas predições de ocorrências meteorológicas com elevada exatidão. A impossibilidade de predição exata de um fenômeno é indicativa de falha na sua compreensão.

O quarto e mais avançado objetivo da ciência é o controle. Controle, nesse sentido, significa conhecimento das causas ou condições antecedentes do fenômeno. Se as condições antecedentes são conhecidas, elas podem ser manipuladas para a produção do fenômeno como desejado.

1.8 Papel da Lógica na Ciência

Os fatos científicos são os elementos essenciais que constroem a ciência. Todavia, eles devem ser dispostos e arranjados em estruturas inter-relacionadas úteis. Contrariamente à crença popular, é falsa a afirmação de que “fatos falam por si só”. Igualmente, não é necessariamente verdade que “fatos não mentem”. Realmente, estas sentenças não têm significado substantivo. A ferramenta mais essencial da ciência, juntamente com o fato verificado, é o sistema de raciocínio lógico válido sobre fatos científicos que permite a derivação de conclusões fidedignas a partir deles. Essas conclusões são proposições sobre inter-relações de fatos que explicam um dado fenômeno, que constituem princípios, teorias e leis científicas.

No âmago do raciocínio lógico sobre fatos está um sistema de regras e prescrições que têm sido estabelecidas no curso de vinte e cinco séculos. O emprego correto dessas regras é fundamental a todo esforço científico. As regras de raciocínio “dedutivo” e “indutivo”, o uso correto de definições, de procedimentos de amostragem, etc. são partes essenciais do instrumental intelectual de qualquer cientista. Essas questões são discutidas nos Capítulos que seguem. Tratar-se-á aqui apenas da distinção entre veracidade e validade, um dos maiores problemas lógicos envolvidos no raciocínio

científico. Esta questão é tratada aqui para ilustrar a inter-relação muito significativa entre fatos científicos (ou seja, declarações de veracidade) e o arranjo lógico entre esses fatos (isto é, raciocínio válido) que compreende o âmbito teórico da estrutura científica.

A maioria dos erros de raciocínio decorre da tendência comum de confundir veracidade com validade. Um fato científico é uma **verdade certa** ou **provável** porque existe uma evidência objetiva substancial para suportá-lo. Por outro lado, um argumento é **válido** quando a conclusão necessariamente segue das proposições iniciais, ou seja, das pressuposições ou "premissas". Uma pessoa pode derivar uma conclusão errada de fatos verificados se ela raciocina incorretamente. Ela também pode derivar uma conclusão incorreta através de raciocínio correto se ela emprega proposições incorretas como premissas. A solução para esse problema de inferência lógica é o modo de operação do argumento válido.

Há apenas uma forma de argumento aceita em lógica como correta ("forte"): aquela em que as pressuposições ou premissas são fatos (certa ou provavelmente) verdadeiros e as inferências extraídas delas são válidas. Entretanto, há três formas de argumento incorreto ("fraco"). Isso pode explicar porque tantas pessoas extraem conclusões incorretas de fatos científicos. E também porque o conhecimento fidedigno cresce tão vagarosamente em tantos campos. As quatro formas de argumento, uma correta e três incorretas, são ilustradas a seguir.

A primeira forma de argumento é ilustrada por um exemplo procedente da botânica: "a papoula é uma planta, e todas as plantas necessitam de umidade para viver; portanto, a papoula necessita de umidade para viver". As premissas ("a papoula é uma planta" e "todas as plantas necessitam de umidade para viver") são ambas estabelecidas por evidência experimental e, portanto, são fatos científicos. Por outro lado, a primeira premissa identifica um membro (papoula) de uma classe de objetos (plantas), enquanto a segunda estabelece uma condição pertinente a todos os membros daquela classe ("plantas necessitam de umidade para viver"). Logo, a conclusão, que atribui a uma planta particular uma propriedade comum a todas as plantas, segue necessariamente; portanto, a conclusão é válida, o que torna o argumento correto.

Considere-se, agora, um exemplo de uma segunda forma de argumento, a primeira das três formas incorretas: "a papoula fresca é combustível, e tudo que é combustível pode prender fogo; portanto, uma papoula fresca pode prender fogo". Este argumento é incorreto porque a primeira premissa é falsa - a papoula fresca não é combustível. Entretanto, se a propriedade de que a papoula é combustível fosse um fato científico, o argumento seria correto, porque a segunda premissa, ou seja, "tudo que é combustível pode prender fogo", é verdadeira por definição. Dessa forma, a conclusão é válida, embora não verdadeira, porque segue necessariamente das premissas. Este exemplo ilustra como é fácil derivar conclusões razoáveis (isto é, válidas) que não são verdadeiras, simplesmente porque uma das premissas não é uma verdade certa ou provável. Uma extensão desta situação é o caso em que ambas as premissas são fatalmente erradas, mas, se aceitas, conduziriam a uma conclusão válida, embora errada. Por exemplo, "a papoula contém vitamina A e a vitamina A evita a calvície; portanto, a papoula evita a calvície". O argumento é válido porque a conclusão segue necessariamente das premissas, mas é incorreto porque ambas as premissas são falsas.

Uma terceira forma de argumento, a segunda incorreta, é ilustrada pelo seguinte: "a papoula necessita de oxigênio para viver, e os humanos necessitam de oxigênio para viver; portanto a papoula é humana". Neste caso, ambas premissas são fatos científicos, mas a conclusão não é válida. A razão porque a conclusão não é válida deve ser salientada: o argumento não inclui em suas premissas a afirmação de que tudo que tem alguma coisa em comum (neste caso, necessidade de oxigênio para viver) é necessariamente semelhante em outros aspectos.

A quarta forma de argumento (a terceira errada) pode ser exemplificada pelo que segue: "a papoula é suculenta, e plantas suculentas têm espinhos; portanto, a papoula

tem espinhos". Este argumento é incorreto porque as duas premissas são fatos conhecidamente falsos e ele é inválido na forma: a conclusão não segue necessariamente das premissas porque o que é verdade para alguns membros de uma classe não é necessariamente verdade para todos os membros da classe.

Embora tais argumentos não sofisticados não apareçam em qualquer ciência respeitável, esses exemplos são interessantes para observar como é fácil alterar a estrutura de um argumento de correta para incorreta, ou vice-versa, simplesmente por pequena alteração.

Muitos exemplos poderiam ser utilizados para ilustrar o papel fundamental de fatos científicos e de raciocínio confiável na estrutura da ciência. Na física anterior a Galileu era sustentado que objetos pesados caem mais rápido do que objetos leves. Esta afirmação é um fato falso e é inválida na forma. Objetos pesados caem mais rápido do que objetos leves apenas quando eles apresentam maior densidade, isto é, uma menor razão de resistência ao meio por unidade de volume. Uma bola de chumbo de 1 kg cai mais rápido do que um pacote de 10 kg de penas não comprimidas porque sua densidade é maior. Neste argumento não apenas uma das pressuposições é um fato falso (a densidade e não o peso absoluto determina a razão de queda), mas também a forma é inválida porque não segue necessariamente que apenas por ser mais leve um objeto deva cair mais rápido.

Um outro exemplo interessante de argumento incorreto é extraído de um fenômeno social: "Nos Estados Unidos o negro tem uma taxa de criminalidade maior do que o branco". Esta afirmação, pronunciada inclusive por dirigentes de órgãos policiais e legisladores, ilustra diversos aspectos de lógica incorreta. Em primeiro lugar, ela infere implicitamente que todo negro tem um potencial mais elevado para cometer crimes; e isto não é um fato científico; apenas algumas classes de negros urbanos nos Estados Unidos exibem uma taxa mais elevada de alguns tipos de crimes popularmente conhecidos. Ela também infere que o negro, mesmo se ele de fato cometesse um número de crimes proporcionalmente mais elevado, o faz porque é negro. Esta implicação também é um fato falso. Entretanto, é interessante notar que este exemplo é um caso de afirmação parcialmente verdadeira que é válida pela razão errada (isto é, errada pelo raciocínio de causalidade). Nos casos em que o negro tem uma taxa de crime proporcionalmente maior do que o branco, isso ocorre porque: 1) taxas de crime são proporcionalmente maiores em áreas urbanas do que em áreas rurais; e a alegada criminalidade do negro é uma consequência da imigração do negro para áreas urbanas; 2) os crimes noticiados popularmente são geralmente de uma classe criminal mais baixa (roubo, assalto e rapto, por exemplo); e os negros predominam em classes mais baixas devido à sua discriminação racial no emprego, habitação, etc. e 3) taxas de crime indicadas pela população de estabelecimentos penais (onde o número de negros é proporcionalmente mais elevado) simplesmente refletem sensibilidade social desproporcional para crimes de classe baixa.

Esses exemplos devem sugerir o papel fundamental do raciocínio confiável na ciência. De fato, nenhuma pessoa pode tornar-se um cientista competente, embora possa tornar-se um praticante efetivo, sem um completo domínio do raciocínio lógico.

1.9 Bases da ciência

As interpretações (isto é, descrições ou explicações) de fenômenos são usualmente baseadas em algum conhecimento prévio presumível. Desde que alguns fatos são necessários para a prova de outros fatos, todos sistemas de conhecimento são compelidos à prova dos fatos básicos. Como esses fatos básicos não podem ser provados eles devem ser admitidos como convenções fundamentais, necessárias a qualquer sistema lógico ou epistemológico. Esses fatos fundamentais são freqüentemente aceitos como indiscutíveis (dogmas) ou evidentes em si. Esse tipo de

evidência é, entretanto, uma base dúbia e freqüentemente irreal para o estabelecimento de conhecimento válido.

A ciência se fundamenta em suposições básicas suportadas por consistência lógica com a experiência, que os cientistas empregam para interpretar a evidência necessária para produzir fatos verificados, isto é, para derivar conhecimento científico.

Essas suposições básicas são os **postulados da ciência**. Esses postulados não devem ser confundidos com as descobertas científicas. Eles são apenas instrumentos funcionais úteis para seus fins, enquanto descobertas científicas são confirmadas por evidência empírica objetiva. Os postulados podem ser alterados com o tempo, caso a evolução do conhecimento científico venha a demandar novas formas de referência, visto que freqüentemente novos conhecimentos alteram o estado de descobertas científicas anteriores.

O exame da literatura revela que não há concordância em relação ao número e à designação dos postulados. Muitos autores referem a dois ou três postulados "básicos"; outros, a um número mais elevado. Alguns autores indicam tais postulados, mas não os designam claramente; outros não mencionam quaisquer postulados específicos, possivelmente porque supõem que qualquer um os conhece.

A lista de oito postulados que segue não deve, portanto, ser considerada como representativa, visto que ainda não existe tratamento uniforme ou típico do método científico. Ela é apenas uma tentativa de concretizar e agregar o que parece ser geralmente aceito por autoridades competentes como pressuposições essenciais do método científico.

1) **Todo evento tem um antecedente ("causa") natural.** As explicações de eventos devem ser procuradas em causas ou antecedentes naturais, isto é, fenômenos demonstráveis objetiva e empiricamente. Esse postulado é empregado na ciência na análise de causalidade. Sua função principal é dirigir a busca da explicação dos fenômenos para as regularidades que eles aparentemente obedecem.

2) **A natureza é ordenada, regular e uniforme.** A crença de que o universo opera de acordo com certas regras de regularidade (isto é, "leis naturais") é inerente à análise científica dos fenômenos naturais. Na prática, essa crença toma a forma de explicações expressas em termos de probabilidades inferidas do particular para o geral, ou da experiência passada para o presente e, portanto, para o futuro. Esse postulado rejeita a noção de ocorrências inexplicáveis ou puramente casuais e não relacionadas, e dirige a atenção para a procura de relações qualitativas e quantitativas que aparentemente existem entre os fenômenos naturais. De acordo com esse postulado, todo fenômeno tem um antecedente, e, embora muitos fenômenos possam parecer únicos (por exemplo, não há duas tempestades com características idênticas), na base de tais eventos únicos ou inexplicáveis estão certos modelos de forças que, quando compreendidos, permitirão melhor predição do que seria possível através de mera conjectura.

Esse postulado também expressa o fato aparente de que a natureza não é infinitamente complexa. Dessa forma, a ordenação do conhecimento científico permite ao cientista o desenvolvimento de teorias referentes às inter-relações dos fenômenos e daí proceder para a análise mais ampla do universo como um todo.

As implicações deste postulado formam a base da lógica científica aplicada aos fenômenos naturais. Esse postulado permite generalizações e classificações referentes aos fenômenos e sustenta a base probabilista da inferência na ciência; particularmente ele é indispensável para a amostragem. Ele também sugere a possibilidade de alcance crescente de uma teoria geral mais altamente integrada, que é o objetivo principal de todo o esforço científico.

3) **A natureza é permanente.** Embora aparentemente tudo se altere no tempo, muitos fenômenos mudam de modo suficientemente lento para permitir o acúmulo de um corpo de conhecimento confiável. Esse postulado sustenta o atributo cumulativo da ciência. Ele implica a crença de que um evento estudado hoje, embora talvez

indeterminadamente alterado amanhã, será, entretanto, suficientemente semelhante para permitir que sejam derivadas generalizações válidas sobre ele que permaneçam fidedignas por um período de tempo.

4) **Todo fenômeno objetivo é conhecível.** Isto é, dado tempo e esforço suficientes, nenhum problema objetivo é insolúvel. Esse postulado se origina de duas convicções relacionadas: a) a inteligência do homem é capaz de desvendar os mistérios do universo; b) a busca do homem nos mistérios de fenômenos objetivos tem sido tão frutífera que aparentemente nenhuma porta ao conhecimento está imutavelmente fechada aos esforços continuados da pesquisa científica.

5) **Nada é evidente por si.** Isto é, a realidade deve ser demonstrada objetivamente. Esse postulado afirma que não deve ser depositada confiança no chamado "senso comum", em tradição, em autoridade popular, ou em qualquer das costumeiras interpretações dos fenômenos. Exemplos históricos revelam que veracidade aparente é frequentemente muito diferente de verificação empírica objetiva.

6) **A verdade é relativa** (ao estado de conhecimento existente). A prova em ciência é sempre relativa - ao estado do conhecimento científico, aos dados, aos métodos, aos instrumentos empregados, aos moldes de referência e, portanto, à interpretação. Dessa forma, a "verdade" na ciência é simplesmente uma expressão dos melhores julgamentos profissionais demonstráveis num determinado momento. Esse postulado não implica que não possa ser adquirido conhecimento estável; mas ele reconhece que o conhecimento é dinâmico e que, na medida em que o conhecimento cresce em qualidade (isto é, se torna mais altamente verificado) e em quantidade, se tornam imperativas reinterpretações e novas conclusões sobre os fenômenos. Esse atributo tem encorajado a reavaliação constante de idéias tanto velhas como novas e tem permitido o crescimento extraordinário da ciência.

7) **Todas as percepções são obtidas através dos sentidos.** Isto é, todo conhecimento é obtido a partir de impressões sensoriais. Os elementos e instrumentos do raciocínio (isto é, idéias, conceitos, construções, imagens, etc.) são moldados pelas impressões recebidas através dos sentidos. Esse postulado também assegura que o único conhecimento confiável é aquele que é verificável objetiva e empiricamente.

Esse postulado originou-se da influência de Galileu referente à demonstrabilidade de predições teóricas. A demonstração empírica passou a constituir-se no teste essencial da validade de toda a especulação teórica referente a fenômenos e de resultantes predições.

8) **O homem pode crer em suas percepções, memória e razão** como meios para a aquisição de fatos. Esse postulado sustenta toda a base racional e empírica do conhecimento científico. Ele não implica que quaisquer e todas as percepções, memórias e razões sejam confiáveis. O que esse postulado assevera é que a resolução final de qualquer disputa sobre fenômenos deve ser baseada em regras aceitas de raciocínio e em dados percebidos através dos sentidos; não sobre meras noções e idéias. A crença final na análise dos fenômenos deve ser baseada em evidência empírica interpretada de acordo com regras de raciocínio lógico.

Exercícios 1.3

1. Explique e ilustre a distinção conceitual entre ciência pura e ciência aplicada (tecnologia).
2. Explique e ilustre os conceitos de fato, lei e teoria científica.
3. Explique a relação entre teoria e fato na ciência.
4. Explique as funções da teoria na ciência.
5. Porque todo conhecimento em ciência é relativo e não absoluto?
6. Porque as teorias científicas são constantemente alteradas?
7. Caracterize os quatro objetivos da ciência: descrição, explicação, predição e controle.
8. Explique a distinção entre verdade e validade no processo de raciocínio lógico sobre fatos.

9. Formule um argumento baseado em premissas e conclusões que ilustre uma forma de raciocínio correto e outro que ilustre uma forma de raciocínio incorreto.
10. Qual é a razão da necessidade dos postulados como base da ciência?
11. Qual é o postulado que constitui a base da inferência indutiva em ciências fatuais?
12. Ilustre os significados dos postulados "nada é evidente por si" e "a verdade é relativa".

Exercícios de Revisão

1. Liste e caracterize resumidamente as diversas fontes de conhecimento.
2. Qual é a distinção entre conhecimento sensível e conhecimento racional?
3. O que distingue fundamentalmente os processos de aquisição de conhecimento científico e não científico?
4. Explique a origem histórica do conhecimento científico.
5. Explique a relação entre a ciência e a filosofia.
6. Identifique as origens da ciência antiga e da ciência moderna.
7. Esboce um resumo das características e das contribuições marcantes da ciência nos séculos 17 e 18.
8. Resuma a evolução da ciência nos séculos 19 e 20.
9. Liste os termos-chaves da definição da ciência através de seu método geral e explique o significado de cada um desses termos.
10. Descreva as características essenciais do método científico.
11. Caracterize, resumidamente, a estratégia e a tática da ciência, ou seja, os significados do método geral e dos métodos particulares da ciência.
12. Liste e caracterize a seqüência de operações ou passos que constituem um ciclo do método científico.
13. Caracterize as fases de síntese, análise e síntese que constituem um ciclo do método científico.
14. Explique a característica circular do método científico.
15. Estabeleça a distinção entre o método científico e os métodos particulares da ciência.
16. Explique, resumidamente, o papel da lógica na ciência.
17. Ilustre as situações de uma conclusão incorreta derivada por argumento válido a partir de premissas que são fatos falsos, e de uma conclusão incorreta derivada por argumento não válido a partir de fatos científicos.
18. Liste e explique os postulados que constituem a base do conhecimento científico.
19. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
 - a) O conhecimento é uma forma espontânea e não sistemática de representar a realidade, sem método para aprofundamento de seus fundamentos, enquanto que o conhecimento é adquirido por um método objetivo, lógico e sistemático, e requer a verificação empírica objetiva de toda explicação referente a fenômenos.
 - b) Enquanto a busca o conhecimento da natureza e a explicação dos fenômenos e de suas relações através do método científico, a busca o conhecimento das primeiras causas ou princípios e a explicação do sentido do homem e do mundo
 - c) A estratégia ou procedimento geral que a ciência utiliza para a geração do conhecimento é denominado ; por outro lado, o conjunto de procedimentos ou técnicas particulares utilizados em uma área particular constitui a da ciência.
 - d) Um problema ou questão particular referente a um fenômeno que possa ser solucionado ou explicado pelo método científico, a luz do conhecimento e instrumental disponível, denomina-se ; uma conjectura de solução ou explicação provisória de um problema científico particular, até que uma pesquisa científica resulte em sua afirmação ou contradição, denomina-se
 - e) O método científico para a derivação de conhecimento referente a um fenômeno compreende uma seqüência de três fases:,

- e A divisão ou decomposição do fenômeno em seus componentes mais simples para sua melhor compreensão denomina-se Essa decomposição visa à derivação de problemas ou questões particulares mais simples, denominados , para os quais podem ser formuladas uma ou mais conjecturas de solução ou explicação, denominadas , capazes de serem verificadas por uma A última fase de um ciclo do método científico, ou seja, a reconstituição do fenômeno de interesse a partir de suas partes ou componentes, denomina-se
- f) Uma hipótese científica verificada empiricamente pelo método científico denomina-se ; um fato científico de elevada fidedignidade denomina-se ; um conjunto de fatos inter-relacionados denomina-se
- g) A distinção básica entre validade e verdade é que refere-se ao arranjo lógico entre fatos, enquanto que (certa ou provável) diz respeito ao atributo de um fato suportado por evidência objetiva.
- h) A base probabilista da inferência em ciências fatuais é o seguinte postulado:
20. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () O conhecimento empírico é adquirido essencialmente através dos sentidos.
 - 2 () O conhecimento empírico é o conhecimento dos fenômenos a partir de sua aparência.
 - 3 () O conhecimento mítico antecedeu o conhecimento empírico.
 - 4 () O conhecimento teológico, também denominado conhecimento religioso, atribui a causa de todos fenômenos a um ser superior.
 - 5 () O conhecimento filosófico é tão antigo como a civilização.
 - 6 () O conhecimento filosófico é fundamentado principalmente na observação.
 - 7 () A ciência como é conhecida hoje já era praticada na Grécia antiga.
 - 8 () O conhecimento científico baseia-se na observação e na razão.
 - 9 () O conhecimento científico distingue-se do conhecimento comum ou ordinário porque sua aquisição envolve raciocínio, além dos sentidos.
 - 10 () Francis Bacon e René Descartes foram os formuladores do método científico moderno.
 - 11 () O método científico moderno teve origem no século 20.
 - 12 () A biologia é a área em que a ciência mais se desenvolveu no século 17.
 - 13 () O estilo dominante da ciência na Europa no fim do século 18 era matemático.
 - 14 () As idéias de Newton dominaram a ciência nos séculos 18 e 19.
 - 15 () O conhecimento científico não é absoluto e definitivo; cresce por aproximações sucessivas.
 - 16 () O método científico não é único; cada área da ciência tem seu método próprio.
 - 17 () O processo do método científico compreende a alternância de fases de síntese, análise e síntese.
 - 18 () Qualquer questão ou indagação referente a um fenômeno de interesse é um problema científico.
 - 19 () Uma hipótese verificada empiricamente pelo método científico é uma hipótese científica.
 - 20 () O procedimento da ciência para a aquisição de conhecimento segue uma seqüência de etapas ou operações cuja ordem depende de cada situação particular.
 - 21 () Técnicas de pesquisa empíricas envolvem necessariamente a observação e avaliação de fenômenos naturais.
 - 22 () Um fato em ciência é uma verdade provável; não uma verdade absoluta.
 - 23 () Os fatos em ciência têm diferentes níveis de fidedignidade.
 - 24 () Uma teoria, por ser uma explicação geral referente a algum fenômeno, não pode ser testada empiricamente pelo método científico.

- 25 () A partir da observação de um fenômeno, o cientista formula uma hipótese que, se comprovada empiricamente pelo método científico, transforma-se em um fato ou lei científica que, por sua vez, pode estar presente na estrutura de uma teoria científica.
- 26 () Validade e verdade têm o mesmo significado no raciocínio científico.
- 27 () Os postulados da ciência são conhecimentos demonstrados pela própria ciência.
- 28 () Os postulados da ciência são um conjunto bem definido de princípios básicos em que se suporta o conhecimento científico.
- 29 () O postulado "todo evento tem um antecedente natural" significa que a ciência é determinista ou fatalista.
- 30 () Em ciência, admite-se que conhecimento acerca de certos fenômenos poderá jamais ser demonstrado cientificamente.
- 31 () O postulado "a verdade é relativa" significa que em ciência é admitido que a verdade acerca de qualquer fenômeno particular jamais poderá ser alcançada.
- 32 () A ciência admite a explicação de um fenômeno como conhecimento científico se ele é evidente por si.

Conceitos e Termos Chave

- Conhecimento empírico
- Conhecimento teológico
- Conhecimento científico
- Empirismo
- Pragmatismo
- Materialismo
- Estratégia científica
- Hipótese científica
- Técnica científica
- Técnica empírica
- Ciência aplicada / tecnologia
- Lei científica
- Descrição
- Predição
- Verdade certa
- Argumento válido
- Conhecimento mítico
- Conhecimento filosófico
- Racionalismo
- Positivismo
- Determinismo
- Método científico
- Problema científico
- Pesquisa científica
- Técnica conceitual
- Ciência pura
- Fato científico
- Teoria científica
- Explicação
- Controle
- Verdade provável
- Postulado da ciência

Bibliografia

- BUNGE, M. **La investigación científica, su estrategia y su filosofía**. 4. ed. Barcelona: Ariel, 1975. 955p.
- CAREY, S. S. **A beginner's guide to scientific method**. 2. ed. Belmont, California: Wadsworth, 1998. 152p.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1983. 248p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- DESCARTES, R. **Discurso del método**. Barcelona: Altaya, 1993. 104p.
- GOTTSCHALL, C. A. M. **Do mito ao pensamento científico: A busca da realidade, de Tales a Einstein**. São Paulo: Ateneu, 2003. 308p.

- HEATH, O. V. S. **A Estatística na pesquisa científica**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1981. 95p.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. 495 p.
- JOHANN, J. R. (Coordenador). **Introdução ao método científico; conteúdo e forma do conhecimento**. 2. ed. Canoas: ULBRA, 1997. 148p.
- LASTRUCCI, C. L. **The scientific approach, basic principles of the scientific method**. Cambridge, Massachusetts: Schenkman, 1963. 257p.
- MADDEN, E. H. (ed.) **The structure of scientific thought, an introduction to philosophy of science**. Boston: Houghton Mifflin, 1960. 381p.
- SILVA, J. G. C. da. O ensino da estatística no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária. In: ENCONTRO NACIONAL DE MÉTODOS QUANTITATIVOS, III, **Anais**. Brasília, 20-22 junho, 1995. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 1995. p.89-107.
- SILVA, J. G. C. da. Métodos quantitativos no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA): Um programa de capacitação e reciclagem de pesquisadores agrícolas. In: SILVA, E. C. (editor) **Métodos quantitativos e planejamento na EMBRAPA com enfoque na informação e na tecnologia da informação**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Departamento de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, 1995. p.69-87.
- SILVA, J. G. C. da. Método científico e pesquisa agropecuária. In: SILVA, E. C. (editor) **Métodos quantitativos - Planejamento e qualidade na EMBRAPA**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Departamento de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, 1997. p.1-46.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: Dover, 1990. 375p.

2 Pesquisa Científica

Conteúdo

2.1	Introdução.....	34
2.2	Conceitos Básicos	34
2.2.1	Pesquisa científica.....	34
2.2.2	Unidade ou sistema.....	35
2.2.3	População objetivo	37
2.2.4	Característica	38
2.2.5	Amostra e amostragem	38
2.2.6	Ilustração.....	39
2.3	Observação e raciocínio	42
2.3.1	Observação	43
	Mensuração	45
2.3.2	Raciocínio	46
2.4	Estágios de uma Pesquisa Científica Completa.....	48
2.4.1	Identificação e formulação do problema científico	50
2.4.2	Formulação da hipótese científica	56
2.4.3	Busca e revisão das informações disponíveis	58
	Objetivos e relevância	58
	Fontes de informação	60
2.5	Objetivos de uma Pesquisa Científica.....	62
	Pesquisa exploratória.....	62
	Pesquisa descritiva	63
	Pesquisa explicativa.....	63
2.6	Processo e Organização da Pesquisa Científica.....	64
2.7	Trabalho de Pesquisa	65
2.7.1	Papel do pesquisador na ciência	65
	Curiosidade.....	65
	Paciência	66
	Objetividade	66
	Tolerância a alterações.....	66
2.7.2	Equipe de pesquisa	66
2.8	A Estatística na Pesquisa Científica.....	68
2.8.1	O método científico e a estatística	68
2.8.2	Uso e mau uso da Estatística	69
2.8.3	Conhecimento da estatística pelos pesquisadores	71
	Exercícios de Revisão	72
	Conceitos e Termos Chave.....	74
	Bibliografia.....	75

2.1 Introdução

A ciência visa à aproximação do conhecimento referente a fenômenos naturais, ou seja, a qualquer evento, objeto, processo ou comportamento, que compreenda atributos ou conseqüências demonstráveis empiricamente de modo objetivo. Seu propósito é aumentar o conhecimento e melhorar a compreensão acerca dos fenômenos, com vistas ao controle e, na falha deste, predição, de modo a permitir o crescente domínio do homem sobre a natureza.

A estratégia da ciência para a produção do conhecimento é o método científico. Sua implementação é procedida através da pesquisa científica.

É reconhecida a extraordinária contribuição da pesquisa científica para o avanço do conhecimento e a compreensão do homem referente ao universo, e para que a humanidade alcançasse o presente estágio de civilização. De fato, pode-se identificar claramente a estreita relação entre o crescente domínio do homem sobre a natureza e o esforço científico e a evolução da metodologia e do instrumental da ciência nos últimos séculos.

A pesquisa científica é muito menos eficiente do que um processo de produção industrial. Uma exploração do desconhecido não pode ser planejada com a precisão de um processo de produção em massa altamente controlado. Entretanto, é sabido que alguns pesquisadores são muito mais eficazes do que outros e tomam menos decisões incorretas no processo complexo de uma pesquisa científica. Não há qualquer conjunto de regras ou lista de condições que garanta a sabedoria inata e o sucesso de um pesquisador, mas se pode detectar claramente a imprescindibilidade de formação básica sólida que inclua a compreensão dos fundamentos conceituais e metodológicos da pesquisa científica e o conhecimento de técnicas consolidadas pela experiência adquirida pelo trabalho de pesquisa científica desenvolvido no passado.

Este Capítulo tem o propósito de reunir e explicar resumidamente os conceitos básicos referentes à pesquisa científica e um conjunto de princípios, técnicas e guias referentes a procedimentos geralmente úteis para pesquisadores nos vários campos da ciência. São considerados apenas os tópicos que parecem mais amplamente importantes para os pesquisadores. Dessa forma, tenta-se fazer uma cobertura ampla, mas não profunda. Assim, na **Seção 2.2**, são estabelecidos o conceito e o propósito da pesquisa científica, e é formulado um conjunto de conceitos básicos que são desenvolvidos e aplicados nas seções que seguem e nos próximos capítulos. Na **Seção 2.3** são abordados os dois elementos essenciais da pesquisa científica: a observação e o raciocínio. A **Seção 2.4** descreve os passos ou etapas que constituem a estrutura sistemática e ordenada de uma pesquisa científica completa. Os primeiros três estágios - identificação e estabelecimento do problema, formulação da hipótese, e busca e revisão da literatura - são abordados com algum detalhe. Uma pesquisa científica pode ter um ou mais de três objetivos: exploração, descrição e explicação. Esses objetivos são discutidos na **Seção 2.5**. Na **Seção 2.6** são revisadas as características sistemática e cíclica do método científico, descrevem-se o conseqüente processo da pesquisa científica e a necessária sistematização e organização da pesquisa. As características desejáveis do pesquisador e a necessidade de trabalho de pesquisa cooperativo são o tema da **Seção 2.7**. Finalmente, a **Seção 2.8** aborda o papel da Estatística na pesquisa científica.

2.2 Conceitos Básicos

2.2.1 Pesquisa científica

A implementação do método científico para a produção do conhecimento é procedida através da pesquisa científica.

A **pesquisa científica** é o processo de investigação sistemática, controlada, empírica e crítica de idéias (proposições hipotéticas) referentes a relações presumidas entre fenômenos com o propósito de descobrir fatos científicos e desenvolver teoria científica.

A pesquisa científica também visa à revisão de fatos, leis e teorias, em vista de novos fatos descobertos, e as aplicações práticas de tais fatos, leis e teorias. Portanto, a pesquisa científica é a busca continuada de conhecimento e compreensão da realidade realizada através do método científico. Seu resultado é o conhecimento científico.

Uma pesquisa científica pode ter objetivo puramente cognitivo, ou seja, a geração de conhecimento científico sem propósito de aplicação imediata, ou objetivo prático, isto é, geração de conhecimento para aplicação imediata. Pesquisa com o primeiro objetivo é denominada **pesquisa pura** ou **pesquisa básica**, e com o segundo objetivo, **pesquisa aplicada** ou **pesquisa tecnológica**.

O progresso do conhecimento científico decorre, basicamente, do aprofundamento permanente e progressivo do conhecimento da complexa inter-relação dos fenômenos naturais, que, por sua vez, compreendem, geralmente, um conjunto também extremamente complexo de outros fenômenos mais elementares, também intimamente relacionados.

2.2.2 Unidade ou sistema

Cada pesquisa científica particular enfoca uma classe de fenômenos inter-relacionados com algumas características essenciais comuns. É usualmente conveniente uma caracterização técnica operacional do constituinte elementar de uma tal classe de fenômenos, que usualmente recebe a designação de unidade ou sistema, e de seus elementos e atributos.

Uma **unidade** ou **sistema** é um conjunto de entidades relacionadas, que constituem um todo organizado globalmente e relacionado dinamicamente com o meio externo, e que realizam conjuntamente alguma função.

Uma unidade é especificada pela descrição do que segue (**Figura 2.1**):

- função ou objetivos da unidade;
- insumos - elementos que entram na unidade;
- produtos - elementos que saem da unidade;
- componentes - elementos internos que transformam insumos em produtos;
- fluxo - movimento de elementos entre os componentes da unidade; e
- fronteira ou limite - linha imaginária que demarca o âmbito da unidade, que inclui todos os seus componentes e elementos.

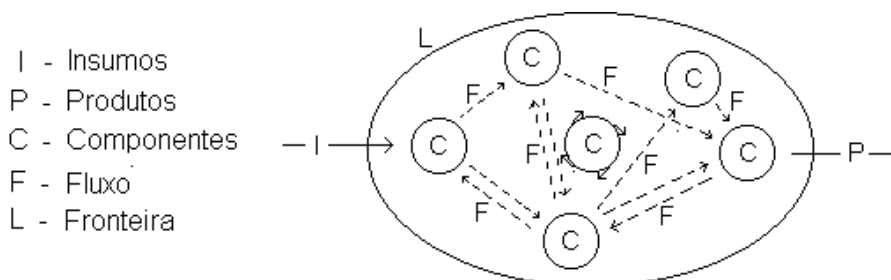


Figura 2.1. Representação esquemática de uma unidade ou sistema.

Os seguintes exemplos são ilustrativos: a) em uma pesquisa da incidência de brucelose nos animais de uma região, a unidade pode ser um animal, um rebanho, uma fazenda, um distrito ou um município; b) em uma pesquisa do controle da mosca do fruto do pessegueiro, a unidade pode ser uma planta, um pomar, uma propriedade, um distrito, ou um município.

A definição da unidade depende do objetivo da pesquisa. Ela deve ser estabelecida na fase inicial da pesquisa, ou seja, na formulação do problema a pesquisar. Algumas vezes, a definição da unidade parece óbvia, como em uma pesquisa para a recomendação de cultivares de trigo para uso pelos agricultores, em que a unidade é uma lavoura, e em uma pesquisa da eficácia de um vermífugo para o controle de helmintos de vacas leiteiras, em que a unidade é um animal. Entretanto, muito freqüentemente, a definição ou escolha da unidade não é tão óbvia.

A dificuldade da definição da unidade ou sistema para uma pesquisa decorre do fato de existir na natureza uma hierarquia de sistemas, ou seja, sistemas dentro de sistemas, numa ordem decrescente de amplitude, tal que um determinado sistema é um subsistema em relação a nível hierárquico mais elevado e, por sua vez, contém subsistemas em nível mais baixo. Assim, por exemplo, uma empresa agrícola é um sistema; seus setores de produção vegetal e de produção animal também constituem sistemas; cada uma de suas lavouras, pomares, bosques, pastagens, rebanhos e instalações também constituem sistemas, bem como cada uma de suas plantas e animais; e, assim sucessivamente, prosseguindo para os níveis hierárquicos inferiores: seus órgãos, tecidos, células, moléculas, átomos e partículas subatômicas também são sistemas. Por sua vez, há uma hierarquia ascendente de sistemas onde se insere uma empresa agrícola: sub-região, estado, região e país. A **Figura 2.2** ilustra uma hierarquia de sistemas em agropecuária.

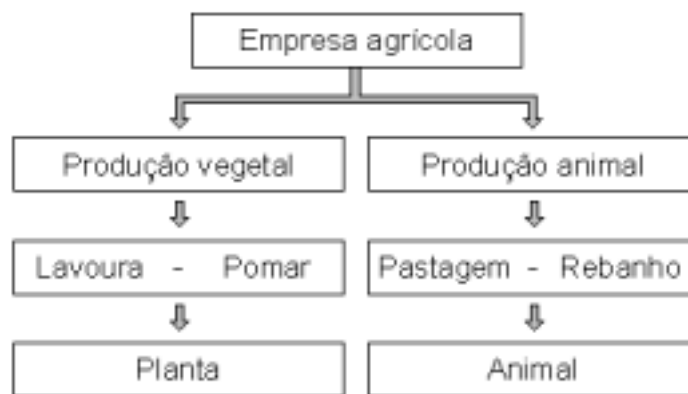


Figura 2.2. Ilustração da hierarquia de sistemas em agropecuária.

Nessas circunstâncias, a definição da unidade ou sistema é estabelecida pela demarcação de sua fronteira, ou seja, da linha imaginária que a delimita em relação ao ambiente externo. As unidades (sistemas) de uma população são usualmente entidades complexas e heterogêneas. Por essa razão, a designação de sistema é mais sugestiva do que a de unidade, que, entretanto, é mais usual e, por essa razão, é adotada nesse texto.

Muito freqüentemente, a unidade é definida vagamente, através de uma sua característica global, ou de uma característica particular importante que é subentendido a identificar. Esse foi o critério adotado nas ilustrações anteriores e que será freqüentemente utilizado nesse texto. Entretanto, deve ser claramente compreendido que a definição completa de uma unidade ou sistema deve abranger os seis aspectos listados na caracterização que segue a definição estabelecida anteriormente.

Exemplo 2.1

Uma unidade ou sistema de produção de trigo pode ser definido como uma lavoura de trigo com o propósito de produção de grãos, desenvolvida em uma área com condições particulares de solo, clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, com um conjunto particular de técnicas de cultivo, incluindo uso de adubos, pesticidas, etc. Pode-se identificar nessa caracterização os seguintes elementos e atributos do sistema: a) função: produção de grãos; b) insumos: elementos referentes a solo, clima, pragas, doenças, invasoras, predadores e técnicas de cultivo; c) produtos: grãos; d) componentes: sementes e, posteriormente, plantas; e) fluxo: movimento de elementos que caracteriza o dinamismo interno do sistema, determinado principalmente pelos metabolismos da semente e da planta, que transformam insumos em produtos; f) fronteira: contorno espacial da lavoura, que a delimita de outras lavouras e áreas, e contorno temporal, que compreende o intervalo entre o plantio e a colheita e avaliação da produção.

Exemplo 2.2

Uma unidade de produção de carne de cordeiro mamão pode ser definida como um potreiro com um conjunto de cordeiros para abate com 3-4 meses de idade, localizado em uma área com condições particulares de pastagem, fonte de água, clima, incidências de doenças, pragas e predadores, submetida a um conjunto particular de técnicas de criação, que incluem uso de suplemento alimentar, de pesticidas, etc. Pode-se identificar nessa caracterização os seguintes elementos e atributos essenciais da unidade: a) função: produção de carne; b) insumos: elementos referentes à pastagem, água, solo, clima, pragas, doenças, predadores e técnicas de criação; c) produtos: constituintes da carcaça; d) componentes: ovelhas matrizes e, posteriormente, cordeiros; e) fluxo: movimento de elementos determinado pelos organismos internos ao sistema, particularmente pelos metabolismos da ovelha matriz e do cordeiro; f) fronteira: contorno espacial do potreiro de criação, que o delimita de outros potreiros e áreas adjacentes, e contorno temporal, que compreende o intervalo entre a preparação da ovelha matriz para a reprodução e o abate do cordeiro e avaliação da produção.

2.2.3 População objetivo

Uma pesquisa científica particular tem como propósito a solução de um problema referente às unidades de uma coleção de unidades de interesse específico.

Em uma pesquisa científica, a **população objetivo** ou, mais simplesmente, **população**, é a coleção bem definida das unidades (sistemas) de interesse para a qual é desejado inferir. O número de unidades é denominado **tamanho da população**.

Uma população objetivo é definida pela especificação de suas unidades ou da caracterização das condições para que estas lhe integrem. A especificação da população, assim como de suas unidades, é determinada pelos objetivos da pesquisa e deve ser estabelecida na formulação do problema. Populações existentes na natureza são **populações finitas**, ou seja, de tamanho expresso por um número natural N , muito freqüentemente elevado e desconhecido. Ademais tais populações têm constituição dinâmica, em decorrência da mutabilidade dos sistemas que lhe integram ao longo do tempo. Em algumas pesquisas, a população objetivo é constituída por unidades existentes no momento da execução da pesquisa. Uma população nessas circunstâncias, cujas unidades podem ser identificadas, é uma **população real**. Muito freqüentemente, entretanto, a população objetivo compreende unidades que não existem no momento da execução da pesquisa, mas que, supostamente, poderão existir no futuro. Uma população nessas circunstâncias, cujas unidades não são identificáveis, mas apenas definidas pela caracterização das condições para que lhe integrem, é uma **população conceitual**. Em uma pesquisa de melhoramento genético de trigo, por exemplo, as unidades da população objetivo não são as lavouras de trigo existentes na região de interesse no momento da execução da pesquisa, mas as lavouras que existirão nessa região no futuro.

2.2.4 Característica

A propriedade básica das populações de interesse na natureza é a heterogeneidade de suas unidades, o que caracteriza o que é comumente denominado de "variabilidade natural".

As unidades de uma população objetivo se caracterizam e se distinguem por um conjunto de particularidades ou propriedades comuns. Cada uma dessas particularidades ou propriedades é uma **característica** ou **atributo** da população objetivo e de suas unidades. Cada característica pode manifestar-se nas unidades sob diferentes **alternativas** ou **níveis**.

Assim, por exemplo, o sexo é uma característica de um rebanho de ovinos que constitui uma população objetivo e dos animais que são as unidades dessa população. Essa característica pode manifestar-se em cada um desses animais em uma de duas formas alternativas - macho e fêmeo. O peso corporal ao desmame é outra característica dessa população e de suas unidades, que, para cada animal, pode assumir qualquer valor numérico de certo intervalo de números reais.

2.2.5 Amostra e amostragem

Muito freqüentemente, é inviável, impraticável ou inconveniente conduzir a pesquisa sobre todas as unidades da população objetivo. Nessas circunstâncias, a pesquisa é conduzida sobre um conjunto de unidades escolhidas da população objetivo ou construídas para representá-la.

Um subconjunto das unidades de uma população objetivo ou um conjunto de unidades construídas para representá-la é uma **amostra** dessa população. O processo de escolha ou construção da amostra é denominado **amostragem**.

A representação da população objetivo pela amostra é uma questão fundamental para a validade de inferências derivadas da amostra. Ela pode ser lograda quando a amostra é constituída por unidades da população objetivo e sua escolha é determinada por **amostragem aleatória**, ou seja, por processo de escolha objetivo que atribua a todas as unidades da população objetivo igual chance de constituírem a amostra (**Seção 3.3.1**). Muito freqüentemente, esse processo é inviável ou indesejável, pela impossibilidade ou inconveniência de escolha de parte das unidades da população objetivo. Nessas circunstâncias, a escolha da amostra é determinada por amostragem não aleatória, como **amostragem de julgamento** ou **amostragem de conveniência**, em que o pesquisador utiliza julgamento subjetivo para lograr a melhor representação possível da população objetivo (**Seção 3.3.2**). Esse é obviamente o caso com populações conceituais, cujas unidades não têm existência no momento da escolha da amostra. Em algumas situações, as unidades da amostra não correspondem a unidades da população objetivo; são construídas de modo a simular tais unidades, especialmente para a execução da pesquisa.

Inferências derivadas da amostra aplicam-se validamente (ou seja, não tendenciosamente) à coleção das unidades que possam ser consideradas representadas pela amostra. Aplicar-se-ão validamente à população objetivo se a amostra for representativa da população objetivo. Esse é o caso de pesquisas com amostragem aleatória. Entretanto, em situações de amostragem não aleatória, a representatividade da amostra não pode ser avaliada objetivamente; portanto, a validade da extensão dessas inferências para a população objetivo depende de julgamento subjetivo.

A coleção de unidades da qual a amostra pode ser considerada representativa é denominada **população amostrada**. Os desvios da população amostrada em relação à população objetivo constituem o **erro de amostragem**.

Em resumo, em geral, o processo de inferência para generalização da amostra para a população objetivo compreende os dois passos ilustrados na **Figura 2.3**. Generalizações referentes ao primeiro passo, ou seja, da amostra para a população amostrada, são conceitualmente válidas e podem ser derivadas por processos estatísticos objetivos. Por essa razão, a população amostrada é denominada **espaço de inferência**. Entretanto, generalizações da população amostrada para a população objetivo são válidas na medida em que a disparidade entre essas duas populações, isto é, o erro de amostragem seja irrelevante. Em pesquisas com amostragem aleatória, inferências derivadas no primeiro passo estendem-se validamente à população objetivo. Entretanto, em situações de amostragem não aleatória, o julgamento da validade desse segundo passo da generalização para a população objetivo é necessariamente subjetivo.

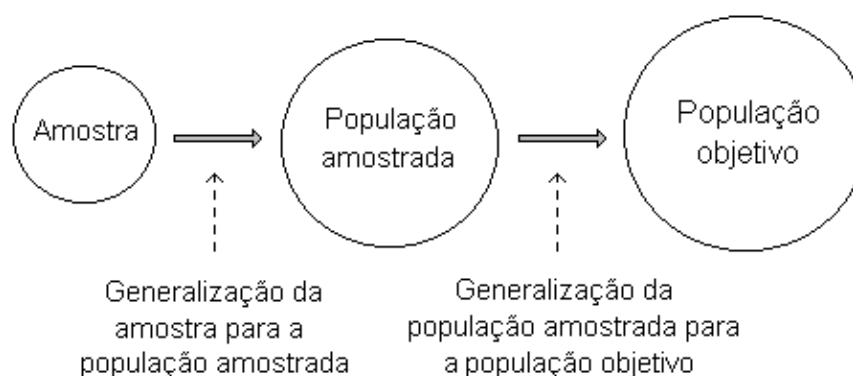


Figura 2.3. Os dois passos do processo de inferência para generalização da amostra para a população objetivo.

Conceitualmente, as características da amostra devem ser as mesmas sob consideração na população objetivo. Os níveis das características da amostra podem ser os próprios níveis das correspondentes características da população objetivo ou subconjuntos desses níveis apropriadamente escolhidos, de modo arbitrário ou supostamente aleatório, para representar os correspondentes níveis da população objetivo.

2.2.6 Ilustração

Para ilustração dos conceitos enunciados nesta Seção considerem-se os exemplos que seguem.

Exemplo 2.3

População objetivo: Conjunto das lavouras de trigo da região tritícola do Estado do Rio Grande do Sul.

Unidade da população objetivo: Uma lavoura de trigo constituinte da população objetivo.

Problema científico: Prejuízo à produção de trigo decorrente da incidência da giberela.

Hipótese científica: Uso de fungicida controla a incidência da giberela e, conseqüentemente, propicia incremento da produção.

Verificação da hipótese: Observação das respostas a diversos fungicidas aplicados em unidades construídas sobre talhões de pequenas dimensões que simulem lavouras da população objetivo.

Características das unidades da população objetivo: Características referentes à semente (cultivar, sanidade, pureza, vigor,...), ao ambiente (solo, clima, incidências de doenças, pragas, invasoras, predadores,...), às técnicas de cultivo (preparo do solo, adubação, semeadura,

aplicações de fungicida, inseticida e herbicida, colheita,...), à planta (altura, número de perfilhos, número de espigas, número de espiguetas por espiga,...) e ao grão (peso da produção por unidade de área, peso hectolitro,...).

Níveis dessas características: Alternativas das características da população objetivo que poderão se manifestar em suas unidades; por exemplo, para a característica cultivar, conjunto das cultivares sob consideração na população objetivo.

Amostra: Conjunto das unidades sobre as quais a pesquisa é conduzida.

Características das unidades da amostra: Mesmas das unidades da população objetivo. Na amostra também são relevantes as características referentes aos processos de mensuração e de registro e edição dos dados.

Níveis dessas características: Níveis definidos para as correspondentes características da população objetivo que se manifestem nas unidades da amostra ou que sejam construídos ou aplicados a essas unidades pelo pesquisador.

Exemplo 2.4

População objetivo: Conjunto das unidades de produção de carne de cordeiro mamão da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul.

Unidade da população objetivo: Uma unidade de produção de carne de cordeiro mamão da população objetivo.

Problema científico: Prejuízo à produção de carne de cordeiro mamão decorrente da incidência de vermes intestinais.

Hipótese científica: Uso de anti-helmíntico controla a incidência de vermes intestinais e, conseqüentemente, propicia incremento da produção de carne.

Verificação da hipótese: Observação das respostas a diversos anti-helmínticos aplicados em unidades construídas sobre poteiros em escala reduzida que simulem unidades da população objetivo.

Características das unidades da população objetivo: Características referentes ao cordeiro recém-nascido (raça, sexo, peso, sanidade,...), ao ambiente (pastagem, clima, instalações, incidências de doenças, parasitos, predadores,...), ao manejo (preparo do cordeiro, aplicação de vermífugo, antibiótico, vacina,...), e ao animal ao abate (peso corporal, comprimento do lombo,...).

Níveis dessas características: Alternativas das características da população objetivo que poderão se manifestar em suas unidades; no caso de raça, por exemplo, cada uma das raças sob consideração na população objetivo.

Amostra: Conjunto das unidades sobre as quais a pesquisa é conduzida.

Características das unidades da amostra: Mesmas das unidades da população objetivo, e as características referentes aos processos de mensuração e de registro e edição dos dados.

Níveis dessas características: Níveis definidos para as correspondentes características da população objetivo que se manifestem nas unidades da amostra ou que sejam construídos ou aplicados pelo pesquisador.

Exemplo 2.5

População objetivo: Coleção de pomares de videiras da cultivar Itália da região vitícola do Estado do Rio Grande do Sul.

Unidade da população objetivo: Um pomar constituinte da população objetivo.

Problema de pesquisa: Prejuízo à produção de uva da cultivar Itália decorrente da incidência da virose do enrolamento.

Hipótese de pesquisa: O incremento do grau de incidência da virose do enrolamento ocasiona diminuição da quantidade e da qualidade da produção de uva.

Verificação da hipótese: Observação das respostas em plantas de um subconjunto de pomares da população objetivo com diversos graus de virose do enrolamento.

Características das unidades da população objetivo: Características referentes à planta (cultivar, sanidade, vigor,...), ao ambiente (solo, clima, incidências de doenças, pragas, invasoras,...), às técnicas de cultivo (adubação, aplicação de fungicida, inseticida e herbicida, colheita,...) e à produção de uva (peso do cacho, número de cachos, brix, acidez,...).

Níveis dessas características: Alternativas das características da população objetivo que poderão se manifestar em suas unidades.

Amostra: Conjunto das plantas ou pomares sobre os quais a pesquisa é conduzida.

Características das unidades da amostra: Mesmas características das unidades da população objetivo e, também, as características referentes aos processos de mensuração e de registro e edição dos dados.

Níveis dessas características: Níveis definidos para as correspondentes características da população objetivo que se manifestem nas unidades da amostra ou que sejam construídos ou aplicados pelo pesquisador.

Exemplo 2.6

População objetivo: Conjunto das lavouras de feijão do Estado do Rio Grande do Sul.

Unidade da população objetivo: Uma lavoura de feijão constituinte da população objetivo.

Problema de pesquisa: Baixa produtividade das lavouras que adotam tecnologias tradicionais.

Hipótese de pesquisa: A adoção de novas tecnologias recomendadas pela pesquisa (referentes a cultivar, adubação, inseticida, herbicida e fungicida) contribui para o aumento da produtividade de lavouras de feijão do Estado do Rio Grande do Sul.

Verificação da hipótese: Observação das respostas em diversas lavouras da população objetivo que adotam tecnologias tradicionais e tecnologias recomendadas pela pesquisa.

Características das unidades da população objetivo: Características referentes às plantas (cultivar, sanidade,...), ao ambiente (solo, clima, incidências de doenças, pragas, invasoras, predadores,...), às técnicas de cultivo (preparo da semente, preparo do solo, adubação, aplicação de inseticida, fungicida e herbicida, colheita,...) e à produção de grãos (peso do grão, tamanho do grão,...).

Níveis dessas características: Alternativas das características da população objetivo que se manifestam em suas unidades.

Amostra: Conjunto de lavouras da população objetivo sobre as quais a pesquisa é conduzida.

Características das unidades da amostra: Mesmas características da população objetivo e as características referentes aos processos de mensuração e de registro e edição dos dados.

Níveis dessas características: Níveis definidos para as correspondentes características da população objetivo que se manifestem nas unidades da amostra.

Por brevidade, nesses e em outros exemplos as especificações das populações objetivos e correspondentes unidades e problemas de pesquisa são apresentadas de modo resumido. Em uma pesquisa real, essas especificações devem ser suficientemente completas para garantia de que os objetivos da pesquisa fiquem estabelecidos de modo inequívoco. Em particular, a caracterização completa da população objetivo deve especificar seu âmbito espacial e temporal. Por exemplo, as lavouras de trigo de interesse na pesquisa considerada no **Exemplo 2.3** compreendem o conjunto conceitual das lavouras que terão existência em um intervalo de anos imediatamente após a conclusão da pesquisa, quando seus resultados serão conhecidos e difundidos.

Exercícios 2.1

1. Elabore um conceito de pesquisa científica.
2. Qual é a diferença essencial entre pesquisa científica e pesquisa não científica?
3. Porque o objetivo de uma pesquisa científica é o estudo de uma classe de fenômenos e não de um fenômeno particular?
4. Explique e ilustre com exemplo de sua área os conceitos de unidade, população objetivo e amostra.
5. Utilize o exemplo considerado na resposta do exercício 4 para ilustrar os seguintes aspectos que caracterizam uma unidade (sistema): função, insumos, produtos, componentes, fluxo e fronteira.
6. Utilize o mesmo exemplo considerado na resposta do exercício 4 para ilustrar o fato de que o âmbito (abrangência) de uma unidade depende do objetivo da pesquisa.
7. O que significa a hierarquia de sistemas na natureza? Ilustre com um exemplo de sua área?

8. Explique e ilustre os significados de população real e população conceitual? Porque as populações de interesse são muito freqüentemente populações conceituais.
9. Liste as características relevantes das unidades referentes ao exemplo considerado na resposta do exercício 4.
10. Explique o que significa a amostragem em uma pesquisa científica.
11. O que significa amostragem aleatória? Qual é sua importância?
12. Por que razões a pesquisa científica é muito freqüentemente conduzida sobre uma amostra da população objetivo e não sobre a própria população objetivo?
13. Para cada uma das pesquisas consideradas a seguir caracterize a unidade, população objetivo, amostra e população amostrada, e indique algumas características relevantes das unidades:
 - a) Levantamento da opinião dos produtores de soja do Estado do Rio Grande do Sul sobre as tecnologias geradas pela pesquisa nos últimos dez anos, através de questionário enviado a 100 produtores selecionados da lista de 500 produtores associados a uma cooperativa de produtores deste Estado.
 - b) Pesquisa da eficiência de fungicidas no controle de doenças do trigo conduzida em diversos locais da Região Triticola do Estado do Paraná durante um período de três anos consecutivos.
 - c) Estudo da relação entre saúde da criança aos cinco anos e amplitude do tempo de aleitamento materno conduzida nos hospitais e postos de saúde do Município de Pelotas.
 - d) Um fabricante de tratores agrícolas compra reguladores de voltagem de determinado fornecedor. Há indícios de que o desempenho dessas máquinas esteja sendo afetado pela variação na voltagem de saída dos reguladores. Para avaliar a qualidade da produção do fornecedor o fabricante envia para análise em um laboratório cinco reguladores do último lote recebido.
 - e) Levantamento da opinião sobre a qualidade do transporte urbano de uma cidade, através de consulta por telefone que utiliza um subconjunto de números extraídos da lista telefônica dessa cidade.
14. Identifique quais das populações objetivos das pesquisas consideradas no exercício 13 são populações reais e quais são populações conceituais.

2.3 Observação e raciocínio

A geração do conhecimento pela pesquisa científica processa-se, essencialmente, através de observação e raciocínio.

A **observação** é a percepção sensorial através da qual é obtido o conhecimento de fenômenos. O **raciocínio** é a elaboração mental que concebe e descobre os significados desses fenômenos, suas inter-relações e relações com o corpo de conhecimento científico existente, na medida em que o conhecimento presente e a habilidade do pesquisador permitem.

Um postulado básico do método científico é que todas as informações referentes a fenômenos são derivadas de impressões sensoriais (**Seção 1.9**). Observe-se que esse postulado não nega que impressões possam ser puramente mentais, pois o pensamento pode ser definido como a manipulação mental de impressões sensoriais. Assim, os dados da ciência são impressões mentais de experiências sensoriais, ou seja, idéias derivadas da visão, audição, olfato, gosto e tato. O homem reage às manipulações mentais de impressões sensoriais, e essas reações, ou idéias, são o fundamento do conhecimento..

Observe-se que a referência usual a esses cinco sentidos é simplesmente um meio conveniente de denotar as habilidades perceptivas do homem. Realmente, são reconhecidos outros sentidos. O sentido cinético, por exemplo, orienta no espaço e habilita ao controle dos movimentos do corpo. Outros sentidos dão as impressões de órgãos internos, que resultam em sentimentos de fome, sede, dor, náusea, etc. Ademais, os sentidos não são entidades simples, mas compreendem várias facilidades sensoriais

relacionadas. O tato, por exemplo, envolve diversas habilidades discriminatórias de sentido, incluindo textura, pressão, temperatura, dor, etc., enquanto que a audição e a visão diferenciam a qualidade e a quantidade de impressões.

Em resumo, a coleta de dados em ciência é essencialmente um processo que compreende:

- a) recepção de estímulo do fenômeno que é estudado;
- b) manipulação mental das impressões desse estímulo para interpretá-lo;
- c) combinação dessas impressões com outras impressões prévias e suas interpretações com o auxílio da memória; e
- d) dedução de uma interpretação conclusiva do fenômeno.

Esse processo envolve dois elementos básicos: os órgãos sensoriais, auxiliados por instrumentos, e a mente. Os órgãos sensoriais empregados dependem das propriedades do fenômeno, enquanto que as manipulações mentais são relacionadas ao conhecimento, habilidade mental, consciência, interesse e atitude da pessoa envolvida. Na maioria das situações, são empregados no processo de coleta de dados apenas três dos cinco sentidos mais conhecidos: visão, audição e tato.

2.3.1 Observação

Quer o cientista olhe um animal, uma planta, um astro ou um outro ser humano, diretamente ou através de um acessório visual tal como um microscópio ou um telescópio, a observação é o método mais comumente empregado de avaliar o objeto de seu interesse. Por essa razão, para tornar-se competente o cientista deve treinar-se para observar tão exatamente quanto possível; em particular para desenvolver sensibilidade a fenômenos e objetos pertinentes a seu interesse, adquirir uma atitude referente ao fenômeno tão isenta quanto possível e empregar os diversos tipos de auxílios visuais que possam ajudá-lo a clarear o que ele observa.

Antes de proceder à observação, o observador treinado deve esclarecer e estabelecer algumas definições básicas relevantes a qualquer observação científica, particularmente as seguintes:

a) As observações que são pertinentes, ou seja: os fenômenos que devem ser observados, os comportamentos que devem ser selecionados da massa total de fenômenos possíveis e os fatos significativos que devem ser procurados. Essas definições são derivadas da hipótese científica.

b) As áreas, os momentos e as condições em que as observações devem ser efetuadas, e a forma de descrição ou estruturação da situação observada. Novamente, um embasamento lógico significativo para delinear a observação apropriada é provido pela hipótese científica.

c) A composição dos fenômenos observados quanto a características relevantes, ou seja, propriedades de seus elementos ou processos funcionais demonstravelmente relacionadas à hipótese.

d) Os procedimentos para a quantificação ou mensuração de cada uma dessas características, particularmente as escalas e unidades de medida e os instrumentos apropriados que devem ser utilizados.

e) A estabilização e padronização das condições da observação para permitir sua verificação.

As observações serão verdadeiramente científicas no sentido completo do termo apenas quando todas essas definições estiverem estabelecidas.

O primeiro requisito para a exatidão da observação é a sensibilidade ou consciência. Essa qualidade é consequência de experiência e perspicácia. A experiência implica observação direcionada e não ao acaso. O observador experiente é aquele que aprende a procurar fenômenos particulares pela exclusão de outros fenômenos irrelevantes, segundo seus propósitos. Em ciência, a experiência em observação sugere

olhar a características de fenômenos como elas aparentam ser, não como supostamente elas são ou como se desejaria que elas fossem.

Um cientista competente vê fenômenos de acordo com suas propriedades empíricas e segundo uma interpretação racional do que eles deveriam parecer à interpretação de outros observadores experientes. Entretanto, apenas a experiência não é suficiente para assegurar exatidão, porque mesmo os observadores mais experientes podem errar ocasionalmente. A perspicácia, ou habilidade de ver através e além dos atributos óbvios de um fenômeno, conota um tipo particular de consciência para observação. Essencialmente, perspicácia refere-se à habilidade de perceber qualidades ou relações que não são evidentes para a maioria dos observadores, através de discernimento e compreensão da natureza e de sua realidade interior. É uma habilidade intelectual, usualmente definida como inteligência ou, mais especificamente, pensamento estruturado. Então, sensibilidade para observar é uma combinação de experiência e perspicácia.

O segundo requisito da exatidão da observação é a objetividade ou não tendenciosidade. A objetividade é relativamente mais fácil de atingir nas ciências físicas do que nas ciências sociais, simplesmente porque o observador não se identifica com o fenômeno de seu interesse. Mesmo assim, a história das ciências físicas está repleta de exemplos de observações não exatas, inclusive no caso de fenômenos impessoais, tais como os relacionados à terra, ao sol, às plantas e à energia. A razão para tais observações distorcidas é que, embora tais fenômenos sejam impessoais, o homem está relacionado de modo tão vital a eles pelos seus efeitos sobre sua existência que encontra dificuldade em vê-los com atitude não tendenciosa.

O terceiro requisito da exatidão da observação é o emprego de auxílios visuais para clarificar e objetivar o que é visto. Lupas, microscópios e telescópios são auxiliares de clarificação óbvios para a visão. Se os fenômenos a serem observados compreendem propriedades físicas discretas, os auxílios padronizados usualmente asseguram exatidão de observação. Mas a clarificação de outros tipos de observações não é necessariamente tão simples. Microscópicos e câmeras, por exemplo, descrevem o que é colocado em seu campo de visão, e transmitem uma imagem iluminada de algum modo particular. A qualidade essencial do que é observado pode não ser observável, porque o microscópio ou a câmera mostra a cena errada, ou no ângulo errado, ou com iluminação errada, ou no tempo errado. Em resumo, é importante ter em conta que esses auxílios visuais ajudam apenas na solução do problema físico de ver o fenômeno; eles não resolvem o problema de ver o fenômeno “certo” ou no modo “certo”.

Os instrumentos que auxiliam a objetivação são de três tipos gerais: a) aqueles que projetam os sentidos ou aumentam sua potência, tais como telescópio, microscópio, estetoscópio e amplificador de som; b) aqueles que indicam unidades ou diferenças mais discretas do que podem ser percebidas pelos sentidos, como balança, régua, trena e outros instrumentos de medidas de grandezas físicas; e c) aqueles que combinam essas duas funções e indicam objetivamente diferenças discretas mensuráveis, tais como termômetro, barômetro e anemômetro.

A exatidão de qualquer desses instrumentos de auxílio à observação depende de duas propriedades independentes:

- confiabilidade e
- validade.

A **confiabilidade** de um instrumento é a habilidade para prover a mesma medida em aplicações repetidas sob as mesmas condições; a **validade** é a habilidade para indicar as propriedades reais que ele deve medir. Assim, um instrumento é confiável se é consistente sob condições comparáveis, mas ele é válido somente se provê o mesmo resultado que outro instrumento semelhante já validado.

A obtenção e a verificação da confiabilidade ou consistência de um instrumento de mensuração é geralmente um problema que pode ser solucionado por meios

relativamente simples. Entretanto, a obtenção de validade freqüentemente apresenta problemas insuperáveis e sua verificação pode ser muito difícil ou inviável. Em ciências físicas, têm sido estabelecidos padrões de referência (como, por exemplo, a barra do metro internacional em Paris) através dos quais pode ser verificada a validade de instrumentos de mensuração. Mas em outras áreas, como em ciências sociais, não existem esses padrões de referência.

Em resumo, as características essenciais de uma boa observação são confiabilidade, validade e exatidão. O treinamento em observação é uma condição necessária para qualquer cientista, e a aprendizagem do uso de instrumentos de mensuração e a habilidade de desenvolver melhores instrumentos é fundamental para a coleta de dados exatos. Observe-se, entretanto, que a obtenção de confiabilidade, validade e exatidão é apenas parte do problema da observação. A outra parte é a pertinência da observação. Freqüentemente, é no que se refere à procura de qualidades pertinentes que o gênio se distingue do cientista medíocre. De fato, o cientista genial salienta-se pela perspicácia, uma qualidade que nenhum instrumento confiável ou mesmo válido pode conferir.

Mensuração

A mensuração de uma característica envolve dois problemas: o que medir e como medi-lo. A resposta a esse problema dual freqüentemente distingue o pesquisador competente do medíocre.

O primeiro problema, ou seja, o que medir implica questões de conceituação, classificação (taxonomia), validade e pertinência. A solução desse problema requer definições básicas referentes às características relevantes das unidades da população objetivo que devem ser consideradas na pesquisa. Essas definições devem ser tomadas segundo os objetivos da pesquisa e estão estreitamente relacionadas ao problema e à hipótese científica.

Uma característica é uma propriedade das unidades de uma população objetivo. Essa propriedade pode ser simples ou complexa, objetiva e facilmente interpretável ou subjetiva e de interpretação dúbia. Em qualquer dessas situações, uma característica é uma noção ou conceito abstrato de uma propriedade. Entretanto, a mensuração de uma característica requer uma operação e, portanto, pode ser empregada apenas com definições operacionais.

Assim, o problema referente ao que mensurar requer a tradução de conceitos teóricos em equivalentes operacionais. Aqui reside um grande risco de uma pesquisa mal concebida, porque não há meio puramente lógico de proceder a essa tradução. Uma definição operacional satisfatória de uma característica não é conseguida por equivalência lógica demonstrável, mas por consenso. E a obtenção de consenso pode conduzir a debate interminável entre cientistas sinceros, objetivos e competentes.

Em muitas situações podem ser propostas várias definições operacionais úteis e convincentes para um conceito ou noção abstrata de uma característica. Idealmente, essas diferentes definições deveriam produzir os mesmos resultados quando empregadas na mensuração desse conceito. Na prática, entretanto, essa concordância raramente ocorre. Por essa razão, é freqüentemente questionado que definições operacionais diferentes, presumivelmente de uma mesma característica, realmente exprimem características diferentes. Naturalmente, pode ser que um dado conceito exprima uma característica ou propriedade complexa correspondente a um agregado de características mais simples, e que as diferentes definições operacionais expressem simplesmente partes dessa característica complexa.

Uma ilustração desse problema fundamental pode ser derivada da experiência comum. Suponha-se, por exemplo, que uma teoria sustenta que a produtividade de uma espécie vegetal cultivada está relacionada positivamente com a qualidade da semente. Uma verificação dessa teoria tentaria demonstrar que lavouras que utilizam sementes de

qualidade mais elevada são mais produtivas do que aquelas que utilizam sementes de menos qualidade. A dificuldade é encontrar uma concordância referente a um equivalente operacional de qualidade da semente. Podem ser propostas diversas definições operacionais úteis e convincentes, mas pode não haver um meio lógico para determinar qual das definições particulares é a mais válida.

O segundo problema da mensuração, ou seja, como medir, está relacionado com o primeiro: o que medir. O problema agora é como classificar ou quantificar segundo uma característica particular unidades presumivelmente já classificadas quanto a essa característica.

A classificação ou quantificação de uma característica é obtida pela sua representação através de números que apresentem entre eles as mesmas relações relevantes existentes entre as alternativas da característica que representam.

A **mensuração** de uma característica demanda uma regra de correspondência entre as alternativas da característica e os números de um conjunto numérico, ou seja, uma função numérica, denominada **variável**. Cada valor da variável, que representa uma alternativa particular da característica, é um **nível** dessa variável.

Assim, uma característica é representada ou expressa por uma variável. Muito freqüentemente, a variável é designada pela mesma denominação da característica que exprime e, freqüentemente, esses dois termos são empregados indistintamente. Entretanto, uma mesma característica pode ser expressa por muitas variáveis alternativas. A escolha de uma dessas alternativas é arbitrária e depende de conveniência e disponibilidade de recursos. Por exemplo, o sexo dos animais na pesquisa da eficácia de anti-helmínticos no controle de vermes intestinais em unidades de produção de carne ovina (**Exemplo 2.4**) pode ser expresso por uma variável que faz corresponder a um animal macho o número 1 e a uma fêmea o número 0, ou por qualquer variável real com dois valores; o peso corporal desses animais ao abate pode ser expresso por uma variável que assuma valores em um intervalo de números reais com extremos arbitrários. Assim, o sexo é uma **variável discreta** de dois níveis, enquanto que o peso corporal usualmente é suposto uma **variável contínua** que pode assumir qualquer valor de um conjunto infinito não contável. Observe-se que essa suposição referente ao peso corporal é uma idealização convencional conveniente, pois, de fato, os valores possíveis do peso corporal correspondem a um subconjunto discreto desse intervalo de números reais, que depende da precisão da balança utilizada no processo de pesagem.

A observação depende de algum grau de julgamento subjetivo. Por essa razão, é importante estabelecer as condições da observação de modo a evitar a tendenciosidade do observador. Muitas vezes, devem ser estabelecidas estratégias elaboradas para permitir ao observador evitar sua própria tendência e obter o registro correto dos fatos.

O tema dessa Seção será retomado no **Capítulo 7**.

2.3.2 Raciocínio

Os fatos são os elementos essenciais que constroem a ciência. Todavia, eles devem ser dispostos e arranjados em estruturas úteis e inter-relacionadas. Contrariamente à crença popular, "fatos não falam por si só". A ferramenta mais essencial da ciência, juntamente com o fato verificado, é o sistema de raciocínio lógico válido sobre fatos que permite a derivação de conclusões fidedignas a partir deles. Essas conclusões são proposições sobre inter-relações de fatos que explicam os sistemas de uma dada população, que constituem princípios, leis e teorias científicas.

No âmago do raciocínio lógico sobre fatos está um sistema de regras e prescrições cujo emprego correto é fundamental a todo esforço científico. O conhecimento dessas regras é parte essencial do instrumental intelectual do cientista.

No processo de raciocínio usado na pesquisa científico parte-se de uma ou mais proposições e se procede a uma outra proposição, ou a outras proposições, cuja veracidade acredita-se seja implicada pela veracidade do primeiro conjunto de proposições. Esse processo psicológico é denominado **inferência**.

A validade dessa implicação depende da relação lógica entre as proposições. A ausência de relação implicativa entre as proposições envolvidas pode conduzir à inferência falsa.

Dois processos de inferência se distinguem fundamentalmente:

- inferência dedutiva e
- inferência indutiva.

A **inferência dedutiva** é o processo de raciocínio em que se parte de uma proposição ou conjunto de proposições gerais e se procede para uma proposição ou conjunto de proposições específicas. Ou, posto de outra forma, é o processo de derivação do conhecimento de um membro específico de uma classe a partir do conhecimento geral referente a todos os membros da mesma classe.

A inferência dedutiva é o processo de raciocínio mais comum em matemática, como exemplificado na seguinte sentença em geometria plana: "A área de um quadrado de lado igual a l é $A=l^2$; então, a área de um quadrado de lado igual a 2 é $A=2^2=4$ ". A proposição inicial "a área de um quadrado de lado igual a l é $A=l^2$ " é a premissa. A proposição final "a área de um quadrado de lado igual a 2 é 4" é a conclusão. O processo de raciocínio e a conclusão constituem uma dedução. Esse tipo de inferência é associado principalmente com técnicas de pesquisa conceituais, mas também é usado com técnicas empíricas, como na construção de hipóteses, leis e teorias.

A **inferência indutiva** é o processo de raciocínio em que se parte de uma proposição ou conjunto de proposições específicas e se procede para uma proposição ou conjunto de proposições gerais. Ou seja, é o processo de raciocínio através do qual o conhecimento de alguns membros de uma classe é aplicado ou estendido a todos os membros desconhecidos da mesma classe.

O método indutivo é empregado para generalizar a partir de fenômenos conhecidos e verificados de uma dada classe para fenômenos desconhecidos e ainda não verificados da mesma classe. A indução envolve a formulação de uma generalização. Esse passo de generalização é denominado "salto indutivo".

A descoberta da natureza da inferência surgiu relativamente tarde na cultura humana. Aristóteles (384-322 a.C.) foi o primeiro a salientar a natureza sistemática da ciência, sustentando que ela pode ser desenvolvida apenas através da razão. Ele estabeleceu o esquema lógico de raciocínio dedutivo denominado **silogismo**. Esse método de inferência dedutiva inicia com duas proposições denominadas **premissa principal** e **premissa secundária** que são relacionadas logicamente de tal forma que a partir delas pode ser derivada uma terceira proposição, denominada **conclusão**. Por exemplo:

Premissa principal: Todas as plantas vivas absorvem água (indução).

Premissa secundária: Esta árvore é uma planta viva (observação).

Conclusão: Portanto, esta planta absorve água (dedução).

O raciocínio indutivo é comumente empregado sempre que se faz um julgamento sobre uma situação baseado em experiência com uma situação prévia presumivelmente semelhante. Por exemplo, quando se observa um relâmpago e então se espera o som do

trovão, e quando se seleciona uma cultivar para plantio na pressuposição de que se obterá o mesmo rendimento produzido no ano anterior.

As bases dessa pretensão são os postulados da uniformidade e da permanência da natureza. Embora, estritamente, todo evento seja único e, portanto, não repetível no futuro, sob o ponto de vista prático, muitos eventos mostram similaridades de algumas características essenciais. Dessa forma, a observação histórica da sucessão de eventos permite uma base para a avaliação, em termos de chance, da possibilidade da ocorrência de um evento de uma classe quando ocorrem outros eventos que o antecederam no passado com freqüência conhecida.

De fato, o processo indutivo pode ser justificado como um argumento silogístico em que a premissa principal é constituída pelo conhecimento anterior e os postulados da uniformidade e da permanência, a premissa secundária é uma evidência empírica particular, e a conclusão é uma extrapolação do que a evidência exprime para todos os casos. Por exemplo, sempre que se observa o aquecimento de um gás a uma pressão constante, observa-se que ele expande. Observações repetidas desse fenômeno fornecem uma base de evidência e desta base infere-se que esse evento ocorrerá sempre. Entretanto, a base de evidência - este evento ocorreu sempre até agora - é muito mais fraca ou estreita em extensão do que a conclusão - este evento ocorrerá sempre. A conclusão excede a extensão ou amplitude da base de evidência. A questão fundamental é a justificativa desse salto indutivo, ou seja, da crença de que alguma coisa ocorrerá simplesmente porque já ocorreu. Certamente, não é justificável no sentido de que a conclusão seja uma conseqüência lógica da evidência.

Apesar dessa semelhança, os raciocínios dedutivo e indutivo são fundamentalmente diferentes. Basicamente, o argumento dedutivo é exclusivo: a validade da conclusão depende unicamente da validade das premissas. A validade neste caso refere-se à correção lógica da forma do argumento, não à veracidade dos fatos estabelecidos como premissas. Mesmo que as premissas sejam falsas, a conclusão deduzida é sempre logicamente válida. Entretanto, esse processo de inferência não pode testar a veracidade das premissas. Ele pode apenas determinar a validade lógica das conclusões extraídas das premissas. Por outro lado, o argumento indutivo é inclusivo: ele deriva sua validade da verificação das premissas. Se elas são válidas, a conclusão extraída será válida, no sentido de que ela será a melhor inferência possível, embora nunca final, que possa ser feita da relação causal com as premissas.

Em resumo, a indução na ciência é baseada em evidência incompleta, pela impossibilidade de considerar todos os sistemas da população sob pesquisa. As conclusões são apenas prováveis, em maior ou menor grau, dependendo do número de casos considerados e da precaução tomada na sua seleção. O fato relevante é que, freqüentemente, a evidência da inferência indutiva pode ser estabelecida matematicamente, em uma base probabilista. Inferências podem ser derivadas por métodos estatísticos quando o problema envolve uma base formal aceitável de teoria da probabilidade, hipóteses alternativas para explicar os fatos, um conjunto de observações, e um método de seleção de uma ou mais alternativas na base da observação e da teoria da probabilidade.

2.4 Estágios de uma Pesquisa Científica Completa

Uma pesquisa científica inicia a partir de um problema ou questão particular referente às unidades de uma população objetivo. Origina-se de uma interrogação como as que seguem: “*que* fungicidas são mais eficazes no controle da antracnose da videira?”, “*quando* o uso de carrapaticidas controla mais eficazmente a incidência da tristeza bovina?”, “*quanto* nitrogênio é necessário para a produtividade máxima do cultivo do arroz?”, “*onde* a incidência da giberela do trigo ocorre mais freqüentemente?”, “*quem* são os produtores que mais se beneficiam das tecnologias geradas pela pesquisa?”. Indiretamente, um “*porque?*” ou “*como?*” pode estar implicado em todas estas questões.

As questões "porque?" e "como?" ocupam um lugar especial na ciência, em consequência das implicações implícitas nos tipos de questões formuladas acima.

As primeiras cinco questões – “que?” (ou “qual?”), “quando?”, “quanto?”, “onde?” e “quem?” - demandam uma determinação de relações de conexão discreta entre características – “que características são relacionadas?”, “quando elas são mais relacionadas?”, etc. Entretanto, as últimas questões (“porque?” e “como?”) referem-se a uma relação entre características diferente e mais complexa, ou seja, uma relação que expressa conexão causal. Este tipo de relação é extremamente importante em pesquisa em científica. De modo geral, um problema de relação causal na ciência é respondido em termos de condições necessárias e suficientes que relacionam uma dada causa com um dado efeito. Em outras palavras, a resposta estabelece as condições que relacionam um evento antecedente com um evento conseqüente.

Assim, toda pesquisa científica é uma busca de relações de conexões entre características. Uma vez a questão inicial é estabelecida, a natureza sistemática do método científico requer a estruturação da pesquisa em uma forma precisa e logicamente arranjada. Essa forma foi desenvolvida através dos séculos, a partir de uma experiência rica de respostas a questões científicas. A estrutura da pesquisa científica determina muito precisamente os vários estágios seqüenciais através dos quais se progride para responder a uma questão em uma maneira satisfatória à comunidade científica.

Da pergunta inicial à sua resposta final, uma pesquisa científica completa procede através de oito estágios principais de operação, listados a seguir.

- **Primeiro estágio:** Identificação e estabelecimento do problema científico ou problema de pesquisa.
- **Segundo estágio:** Formulação da hipótese científica ou hipótese de pesquisa.
- **Terceiro estágio:** Revisão da literatura.
- **Quarto estágio:** Construção do plano de pesquisa.
- **Quinto estágio:** Coleta dos dados.
- **Sexto estágio:** Análise e interpretação dos dados.
- **Sétimo estágio:** Derivação das conclusões, que pode conduzir à confirmação ou rejeição da hipótese original, e confirmação ou questionamento de resultados de outras pesquisas.
- **Oitavo estágio:** Apresentação dos resultados através de relatório, e difusão desses resultados.

Algumas observações relevantes referentes a essa estrutura do processo da pesquisa científica devem ser salientadas:

a) Ela é arbitrária. Os textos de metodologia de pesquisa listam diferentes números de estágios. Entretanto, um exame de tais listas indica que todos esses oito estágios são envolvidos.

b) Os vários estágios não ocorrem em todas as pesquisas necessariamente na ordem indicada. Pesquisadores experientes podem estar estudando a literatura ao mesmo tempo em que estão formulando a sua hipótese e elaborando seu plano de pesquisa.

c) Os vários estágios não são sempre rigidamente estabelecidos ao início da pesquisa. Uma pesquisa bem planejada pode permitir ajustes ou alterações a serem feitas durante seu andamento.

d) Todos os estágios são igualmente importantes na contribuição para os resultados finais da pesquisa, mas não envolvem a mesma quantidade de tempo, custo e esforço.

e) Os oito estágios compreendem a função analítica completa da ciência, na medida em que eles provêm uma estrutura comum que assegura os atributos básicos do método científico. Entretanto, uma pesquisa científica completa bem elaborada pode

compreender, principalmente em suas fases de síntese, pesquisas específicas com objetivos exploratórios ou descritivos, em que apenas parte dos oito estágios seja cumprida.

Os três primeiros estágios são caracterizados nas seções que seguem. O quarto estágio é o propósito deste texto, particularmente no contexto da pesquisa experimental. O quinto estágio é parcialmente abordado no **Capítulo 9**.

2.4.1 Identificação e formulação do problema científico

A atitude de problematizar é a característica mais visível na ciência, como de toda atividade racional. Por exemplo, um objeto arcaico recém descoberto pode ser uma mercadoria para um antiquário, um estímulo de sensações estéticas para o experto de arte e interessante para o colecionador. Entretanto, para o arqueólogo pode converter-se em fonte inspiradora de uma série de problemas, na medida em que seja testemunho de uma cultura extinta e possa fornecer oportunidade para inferências referentes a características dessa cultura.

Assim, os problemas são as molas que impulsionam a atividade científica. A pesquisa científica consiste, essencialmente, em achar e formular problemas e tentar solucioná-los.

A identificação de problemas de pesquisa é procedida na fase de análise do início de um ciclo do método científico aplicado para a melhoria do desempenho das unidades de uma população objetivo particular.

Na prática, freqüentemente, não é simples identificar a existência de um problema de pesquisa. Mesmo as mais restritas porções do mundo real são demasiadamente complexas para serem compreendidas completa e exatamente. Isto porque, sob observação crescentemente refinada, descobre-se, sempre, a presença de interações com o resto do universo. Conseqüentemente, é necessário ignorar a maioria das características das unidades sob estudo e abstrair da situação real certos aspectos que conjuntamente completam uma versão idealizada dessas unidades. Essa idealização, se bem sucedida, provê uma aproximação útil da situação real, ou melhor, de certas partes da situação real.

Usualmente, é conveniente decompor essa versão idealizada em um número de partes para tratamento separado, ou seja, analisar as unidades (sistemas) e o correspondente problema global. A possibilidade desse procedimento fundamenta-se na existência de componentes aproximadamente independentes ou que interagem de modo relativamente simples.

Essa análise do problema global origina a formulação de um conjunto de problemas específicos, cada um dos quais pode ser solucionado pelos métodos de pesquisa científica e recursos disponíveis. Cada um desses problemas constitui um problema científico particular.

Um **problema científico** ou **problema de pesquisa** referente às unidades de uma população objetivo é uma indagação, questão ou pergunta específica referente a relações de conexão de características dessas unidades que seja respondível por meio do método científico, com as técnicas, procedimentos e recursos disponíveis.

O elenco dos problemas científicos selecionados nessa fase de análise de um problema complexo é determinado pelo estado do conhecimento científico, particularmente por suas lacunas, pelos objetivos, pela competência e a tendência profissional da equipe de pesquisa, pelas possibilidades de aplicações e pelos recursos metodológicos, instrumentais e financeiros existentes. Particularmente, essa seleção é limitada pelo estado da teoria científica e é estabelecida com base nessa teoria. Por exemplo, a pergunta que Einstein formulou e que deu origem à teoria da relatividade: "Porque a aceleração de um corpo imerso em um campo gravitacional não depende da

massa desse corpo?” Essa pergunta teria sido completamente sem sentido para Newton, pois era impossível imaginá-la e formulá-la antes da constituição das teorias da gravitação e da eletrodinâmica.

As necessidades práticas são uma fonte de problemas científicos. Entretanto, atribuir importância exagerada à aplicação prática com prejuízo do valor científico intrínseco é esterilizador em longo prazo. Em primeiro lugar, porque os problemas científicos não são principalmente problemas de ação, mas de conhecimento. Em segundo lugar, porque o desenvolvimento da teoria é fundamental para a enunciação de problemas cada vez mais importantes. Algumas vezes, o cientista se dedica a um problema de pesquisa pura com objetivo teórico sem estar seguro da razão de sua curiosidade. Ao longo do tempo, entretanto, as várias peças de conhecimento proveniente de pesquisa pura começam a sedimentar-se em modelos ou em reservatórios de fatos, e sugerem ao cientista que opera nas fronteiras do conhecimento respostas a questões básicas relevantes. Muitas das descobertas importantes da ciência, tais como: o micróbio como origem de doenças, a energia elétrica, o rádio, o radar, a fissão atômica e a propulsão a jato, são conseqüências práticas de conhecimento adquirido anteriormente através de pesquisa pura aparentemente sem utilidade. Por essa razão, a primeira consideração para a eleição de problemas deve ser o próprio interesse relativo dos problemas; a segunda deve ser as possibilidades de resolução desses problemas, levando em conta os recursos disponíveis.

Nem todo problema é um problema científico. Problemas científicos se estabelecem sobre uma base científica e podem ser tentativamente resolvidos pela pesquisa científica, com o objetivo principal de incremento do conhecimento. Se o objetivo é eminentemente teórico, o problema é um **problema de pesquisa pura**; se o objetivo é mais prático do que teórico, então o problema é um **problema de pesquisa aplicada** ou **pesquisa tecnológica**. Entretanto, não há uma linha rígida separando problemas de pesquisa pura e problemas de pesquisa tecnológica, pois um problema estabelecido e resolvido com qualquer desses fins pode prover uma solução que tenha valor tanto cognitivo como prático. Assim, por exemplo, pesquisas de ecologia e etologia de roedores podem ter tanto importância científica como importância prática para a agricultura e a medicina.

Um problema de pesquisa é geralmente formulado com um dos dois seguintes propósitos: descritivo ou explicativo. Um **problema descritivo** refere-se à falta ou demanda de conhecimento referente às unidades de uma população objetivo. Por exemplo: “que rebanhos bovinos do Estado do Rio Grande do Sul estão infectados com anaplasose?”, “onde pode ser encontrado carvão na região Sudoeste do Rio Grande do Sul?”, “que tipos de bactéria infectam bovinos de corte desta Região?”. Um **problema explicativo** (ou **analítico**) é uma questão referente a relações causais entre características das unidades. Por exemplo, “qual é a relação entre incidência de mastite em vacas leiteiras e idade do animal?”, “qual é a relação entre incidência da giberela do trigo e umidade relativa do ar?”, e “qual é a relação entre produtividade e época de plantio de tomateiro?”. As designações de descritivo e explicativo serão ulteriormente consideradas de modo mais detalhado. Realmente, os propósitos de descrição e de explicação são, na maioria das situações, tão intimamente inter-relacionados que a distinção entre eles é mais artificial do que real.

A importância desta primeira etapa da pesquisa científica é óbvia e universalmente reconhecida. Entretanto, é surpreendente a freqüência com que ela é desconsiderada. Não é exagero salientar que os maiores desperdícios em pesquisa originam-se da formulação de problemas imperfeita ou inadequada. Algumas vezes o problema enunciado é realmente um problema espúrio originado de observações e raciocínio falhos. Algumas vezes o problema, embora real, é trivial. Em outros casos, o problema é tal que, mesmo que solucionado, a solução não seria utilizada. Essas situações podem ser evitadas por uma formulação do problema cuidadosa, precedida do conhecimento adequado de seus antecedentes, particularmente de sua origem e importância, e do destino dos resultados da pesquisa que ele originará.

Muito freqüentemente, uma pequena quantidade de tempo despendida formulando o problema de diversos modos diferentes, redefinindo-o e expressando seus limites, aponta o caminho para sua solução. Esse exercício na formulação do problema freqüentemente pode contribuir substancialmente para a melhor compreensão das unidades e para a própria solução final do problema.

O aspecto crucial de qualquer problema científico é sua formulação correta. De fato, a enunciação do problema apropriado é a maior dificuldade da ciência. Vale reiterar aqui a conhecida sentença: "Muitos cientistas devem sua grandiosidade não a sua habilidade em solucionar problemas, mas a sua sabedoria em escolhê-los".

Embora não existam regras gerais para a formulação de um problema científico, alguns princípios gerais devem ser satisfeitos para que um problema possa ser considerado um problema científico bem formulado. Alguns desses princípios são enunciados a seguir.

a) O problema deve inserir-se em um corpo de conhecimento científico acessível.

Uma condição essencial para que um problema possa ser tratado pelo método científico é sua fundamentação teórica e coerência com o corpo de conhecimento científico existente. Problemas de pesquisa que correspondem a perguntas isoladas originam a acumulação de fatos não relacionados. Esse tipo de conhecimento enciclopédico é comum na origem de toda a área da ciência. Mesmo hoje, muitas áreas rudimentares da ciência, como a sismologia e a antropologia física, são compostas principalmente de grandes massas de fatos discretos. Nas ciências mais avançadas, entretanto, um problema de pesquisa tem significado apenas quando focado como um constituinte de um problema geral mais amplo.

b) O problema de pesquisa deve ser relacionado e orientado ao campo de teoria e conhecimento mais amplo em que se insere.

Deve ser estabelecido claramente como uma pesquisa particular se relaciona com outras pesquisas semelhantes; se a pesquisa é pioneira, sem quaisquer antecedentes de propósitos semelhantes e emprego de mesmo método, na mesma área ou em área correlata; ou se é simplesmente uma repetição de outras pesquisas para propósitos de confirmação de seus resultados. Deve ser esclarecido se a pesquisa pressupõe que as descobertas de estudos semelhantes são aceitas de modo inquestionável, ou se são ignoradas, contestadas, ou mesmo desaprovadas. A orientação de um problema indica que o pesquisador tem um propósito específico para estudar o que ele se propõe e na maneira que propõe.

c) Problemas complexos não devem ser resolvidos através de formulações simples.

Em algumas circunstâncias, um problema complexo pode ser decomposto em um conjunto de problemas mais simples, cada um dos quais apropriadamente formulado como um problema científico específico, de modo que seus resultados possam ser coordenados, combinados ou sintetizados para responder o problema original complexo. Essa abordagem pressupõe que esses problemas específicos mais simples referem-se a subsistemas do sistema global e são relativamente independentes. Muito freqüentemente, entretanto, essa pressuposição é irreal. De fato, usualmente um problema complexo se refere a um sistema cujos subsistemas são inter-relacionados de modo íntimo e intrincado. Se esse fato é ignorado e se procede para tentar respostas para as partes separadas, pode não ser lograda uma solução apropriada para o problema global. Seja, por exemplo, o problema: "qual é a influência das técnicas de cultivo sobre a produtividade do feijão?". A resposta a essa questão pode ser tentada através da sua decomposição em questões simples, cada uma delas referente à influência de uma técnica de cultivo particular (época, densidade e modo de semeadura, fertilização do solo com nitrogênio, fósforo, potássio,..., uso de inseticidas, herbicidas, fungicidas,..., época de colheita, etc.) sobre a produtividade. Na solução tentativa de cada uma dessas questões, referente a uma técnica de cultivo particular, as demais técnicas de cultivo têm

de ser fixadas. Como a influência de cada técnica de cultivo sobre a produtividade tem elevada dependência das demais técnicas de cultivo empregadas, a resposta imediata ao problema complexo pode não ter significado ou não ser adequada.

Entretanto, não há alternativa: a decomposição de problemas complexos é necessária em pesquisa científica. A abordagem científica compreende a formulação de um conjunto de problemas seqüencial e iterativo que origine um programa de pesquisa de longo prazo, de modo que as soluções alcançadas em cada etapa sejam incorporadas ao corpo de conhecimento atual, a partir do qual as questões sejam reiteradas ou reformuladas.

d) Todas as características relevantes relacionadas ao problema devem ser identificadas e consideradas.

Um problema não pode ser resolvido corretamente se as características que implicam em sua manifestação não são corretamente identificadas ou são falsamente reconhecidas. Assim, por exemplo, problemas relacionados com características físicas em humanos também são freqüentemente relacionados com características psíquicas. Em algumas circunstâncias, pode ser conveniente o emprego de procedimentos apropriados para distinguir as respostas atribuíveis a efeito real e a efeito imaginário.

e) A existência do problema deve ser assegurada.

Esse requisito demanda uma definição clara dos atributos do problema e uma delimitação explícita de sua área de existência. Seria infrutífero, por exemplo, tentar resolver o problema da incidência de uma doença em animais se tal doença não constituísse um problema. Semelhantemente, seria infrutífero tentar resolver tal problema se o problema real não fosse a própria doença, mas alguma deficiência nutricional ou insalubridade de instalações que torna os animais suscetíveis.

f) O problema tem que ser bem concebido e delimitado.

O embasamento do problema, em particular suas pressuposições, não pode ser falso ou indefinido. Por outro lado, o problema não pode ser demasiadamente amplo ou vago. Pelo contrário, deve integrar uma série de problemas a serem considerados progressivamente, passo a passo.

g) O problema deve ser compreendido antes de formulado.

Muito freqüentemente, o pesquisador tenta resolver um problema antes de compreender claramente seus componentes ou seus atributos distintivos e reconhecíveis. Assim, por exemplo, seria infrutífero procurar as causas de uma doença antes de ter uma definição clara do significado de tal doença, de como reconhecê-la, como distingui-la de outras doenças e como mensurá-la.

h) O problema deve ser tratável pelas técnicas de pesquisa científica existentes e com os recursos disponíveis.

Considerem-se, por exemplo, as seguintes questões: “que produtividade de trigo se obteria no Rio Grande do Sul se as doenças fossem erradicadas das lavouras e as condições de clima e de solo fossem as ideais?”, “quando será obtida uma cultivar de feijão com produtividade superior em todo o País?”, “quanto tempo sobreviveria um organismo que se tornasse completamente imune a doenças?”. Essas questões não permitem pesquisa empírica nessa época. Trata-se apenas de especulações não respondíveis pela ciência no presente estágio de desenvolvimento de suas respectivas áreas.

Em algumas circunstâncias, pode não ser conhecido ou garantido que uma dada questão possa ser respondida nas circunstâncias presentes. Limitações de informações, de recursos, de metodologia e impedimentos à pesquisa de diversas origens podem constituir barreira considerável no momento em que um problema é posto. Muitas vezes o cientista assume uma atitude pragmática nessas situações e decide executar a pesquisa. No curso de sua pesquisa, ele pode defrontar-se com vários obstáculos e limitações para completá-la. Muitas das pesquisas realizadas nessas circunstâncias são

conduzidas com a esperança de que originem alguma contribuição ao conhecimento e devem ser consideradas como puramente especulativas.

i) O problema deve ser respondível em termos objetivos.

Considere-se, por exemplo, a questão: “o uso intensivo de pesticidas é benéfico para o rebanho ovino?”. Essa formulação não especifica o significado de diversos termos, ou seja: “intensivo”, “pesticidas” e “benéfico”. Para que um problema possa ser respondido objetivamente são necessárias as definições das evidências a serem buscadas e a existência de procedimentos padronizados de mensuração. Também é necessário que essas evidências e os procedimentos de mensuração a serem empregados existam em forma sensível e impessoal, tenham características distintas e significativas, e possam ser avaliados e descritos sem subjetividade.

j) O problema deve ser formulado claramente, de modo que tenha o mesmo significado para todas as pessoas inteligentes e bem informadas.

Para que uma pesquisa seja bem sucedida é essencial que o problema a ser resolvido seja estabelecido de modo claro, completo e explícito, em forma escrita. Esse procedimento é indispensável para a garantia de que os recursos sejam despendidos de modo frutífero e eficiente. A ausência desses cuidados, que ocorre quando o problema é estabelecido de modo ambíguo, vago ou equivocado, conduz a pesquisas ineficientes, que decorrem, por exemplo, da coleta de dados inadequados ou desnecessários, ou da omissão de dados essenciais. Por exemplo, a questão “a incidência de doenças causa prejuízos elevados à produção de tomate?” não especifica a origem ou o tipo da doença, em quais tipos de lavouras e sob que condições ambientais ela ocorre, e o significado de “prejuízos elevados”. Muito freqüentemente, é desejável que uma questão seja formulada de forma limitada e em termos tão simples quanto possível. Questões complexas, como a exemplificada, devem ser preferivelmente decompostas em questões específicas e não ambíguas.

k) A formulação do problema deve delimitar a área de pesquisa.

O estabelecimento de um problema de pesquisa particular deve delimitar a área de pesquisa, ou seja, o âmbito do problema, o que demanda a caracterização clara da população objetivo e de suas unidades. Em algumas situações, a população objetivo é definida implicitamente no contexto do problema; em outros casos, ela deve ser especificada explicitamente. De qualquer forma, a população objetivo deve ser claramente estabelecida junto com o problema de pesquisa.

Um problema científico pode compreender uma pergunta simples, específica e temporária (por exemplo, “quantos ovinos de um rebanho particular estão infectados com helmintos?”); no outro extremo pode compreender uma pergunta ampla e complexa (por exemplo, “qual é a relação entre produtividade do milho e fertilidade do solo?”). De modo geral, a abrangência de um problema é determinada por um ou mais dos seguintes fatores: a) objetivos e interesses da instituição de pesquisa e dos pesquisadores; b) disponibilidade dos recursos relevantes; c) complexidade da base teórica subjacente; d) conhecimento disponível que contribua para a solução do problema; e) exeqüibilidade da pesquisa.

l) Devem ser consideradas formulações alternativas ou substitutas, caso a formulação original não seja exeqüível.

Em algumas circunstâncias, a formulação original de um problema é ineqüível. Um pesquisador prudente tem um estoque de formulações alternativas para a consecução de seus objetivos. Uma formulação alternativa pode significar uma redução dos objetivos da pesquisa (como consequência de diminuição da abrangência da população objetivo ou simplificação da hipótese científica, por exemplo), ou a tomada de um caminho indireto para lograr uma aproximação do objetivo original. Como um estrategista cuidadoso, o pesquisador experiente deve estar sempre pronto a efetuar alterações em formulações e procedimentos, contanto que a essência do problema não seja alterada.

m) Entre as formulações alternativas do problema, deve ser escolhida aquela a que corresponda método de solução mais exequível e mais eficiente.

Os custos e a demanda de tempo e de recursos humanos e materiais devem ser considerados judiciosamente antes da formulação final do problema. Em muitos casos, diversas formulações alternativas podem ser apropriadas para um problema, dependendo da profundidade e da amplitude desejada para a solução. Em algumas circunstâncias, uma formulação simples, embora não muito eficiente, pode atender às necessidades; em outros casos, o problema pode demandar formulação mais complexa. Por exemplo, seria ineficiente despender grande quantidade de esforço para resolver um problema de pequenas dimensões ou de pouco significado; mas seria igualmente infrutífero tentar responder uma questão ampla e complexa com a utilização de métodos primitivos e limitados. Pesquisadores experientes freqüentemente formulam seus problemas de diversas formas alternativas e consideram diversos métodos de solução para que possam compará-los para a eleição do mais apropriado. Entretanto, a maioria dos problemas de pesquisa bem formulados sugere em sua própria definição os métodos mais eficientes para solução.

n) O problema deve ser formulado de modo sistemático.

O procedimento sistemático é um dos atributos da ciência. De fato, a obtenção de resultados significativos na ciência é uma conseqüência de formulações sistemáticas e emprego de metodologia rigorosa. A viabilização desse procedimento requer que o problema seja formulado de modo organizado. Em particular, a construção sistemática de um plano de pesquisa é impossível se o problema não foi formulado de modo sistemático. Embora algumas formulações de problemas requeiram alterações durante o curso da pesquisa, essas alterações somente podem ser logicamente defendidas e exploradas de modo máximo quando o problema foi originalmente formulado de modo sistemático. Ademais, a história da ciência, bem como a literatura científica contemporânea, atestam o fato de que muitos problemas importantes permaneceram sem solução por tempo desnecessariamente longo devido a formulações reconhecidamente desordenadas.

o) A formulação do problema não deve influenciar os fenômenos sob pesquisa.

As respostas de seres vivos em laboratório e em outros ambientes de pesquisa podem diferir das respostas que manifestam em seus ambientes naturais. Particularmente, indivíduos humanos, quando sabem que estão sendo estudados, podem ter reações diferentes daquelas que manifestam em suas condições normais. O pesquisador cuidadoso formula seu problema, e ulteriormente conduz sua pesquisa, de modo a evitar, neutralizar ou controlar qualquer possível efeito que a situação de pesquisa possa ter sobre os fenômenos. Cada campo de pesquisa desenvolve técnicas próprias para a solução desse problema. Em última instância, a melhor segurança contra possíveis violações desse princípio é o uso de controles específicos para testar a sensibilidade das unidades da amostra, ou a comparação cuidadosa de unidades testadas com unidades não testadas.

Para atender a esse conjunto de requisitos, a formulação do problema deve ser cuidadosa, pormenorizada e completa. Entretanto, muito freqüentemente, é conveniente resumir-la através de um enunciado breve, claro e objetivo. Essa forma resumida do problema é útil especialmente para facilitar sua apreciação e evidenciar mais nitidamente sugestões de soluções que possam ser candidatas à hipótese de pesquisa. Considere-se, por exemplo, o problema da deficiência da pastagem natural no período outono-inverno, em campos de criação extensiva de bovinos de corte do Estado do Rio Grande do Sul, que causa redução do desenvolvimento ponderal e perda de peso desses animais, e conseqüentes prejuízos para a produção de carne. Uma descrição completa desse problema poderia ser resumida pelo seguinte enunciado: "Prejuízo da produção de carne de bovinos de corte no Rio Grande do Sul decorrente da deficiência da pastagem natural no outono-inverno". Uma outra ilustração é provida pelo problema da incidência

do míldio em pomares de videira da Região da Serra do Rio Grande do Sul, que causa prejuízos para a planta e a conseqüente queda da produção de uva, que poderia ser resumido na forma: “A incidência do míldio na Região da Serra do Rio Grande do Sul prejudica a produção de uva”.

2.4.2 Formulação da hipótese científica

Após a formulação do problema, a próxima etapa é a indagação referente à natureza e a conexões de características que conduza à idealização de um ou mais caminhos para a solução ou resposta ao problema. Cada um desses caminhos idealizados constitui uma **hipótese de pesquisa**.

A hipótese de pesquisa pode ser sugerida pela literatura. Mais comumente, entretanto, é formulada como uma predição com base na teoria. Menos freqüentemente, provém de raciocínio baseado em observação eventual de eventos. Em algumas situações, a formulação de uma hipótese pode parecer infrutífera. Esse é o caso de pesquisa exploratória em uma área relativamente nova, onde ainda não são conhecidas as características relevantes e suas relações.

O conhecimento científico referente a uma classe de fenômenos é consolidado em teorias, ou seja, enunciados gerais que explicam ou inter-relacionam um conjunto de outras proposições mais específicas, ou seja, fatos científicos. Essas teorias abrangem alguns aspectos da inter-relação total, mas não todos os aspectos. Geralmente, algumas sub-relações não são levadas em conta. A utilização de uma teoria para a resposta a uma questão ou solução de um problema requer a dedução de inferências a partir dela. Essas inferências constituem hipóteses científicas:

Uma **hipótese científica** ou **hipótese de pesquisa** é uma proposição de solução ou resposta a um problema de pesquisa que é derivada de uma teoria por inferência dedutiva e que permite um teste de confirmação empírica.

A função da hipótese científica é estender o conhecimento científico além das presentes fronteiras do conhecimento teórico. Assim, a hipótese científica é mais do que uma conexão entre especulação e verificação; ela é o fator essencial do crescimento do conhecimento científico.

Em consonância com o correspondente problema científico, a função de uma hipótese científica pode ser: descritiva ou explicativa.

Uma **hipótese descritiva** é enunciada para um problema descritivo. Declara a existência de uma uniformidade empírica, ou seja, de um fato ou relação comumente conhecido, mas que ainda não foi verificado empiricamente, ou que ainda não é conhecido, mas cuja existência é suspeita. Por exemplo, “a incidência da ferrugem do trigo é maior sob condições de umidade relativa elevada”; “novilhos machos têm taxa de crescimento ponderal mais elevada do que fêmeas”; “as condições climáticas da fronteira sudoeste do Estado são mais favoráveis à viticultura do que as da Serra”.

Como a ciência tenta construir um corpo sistemático de conhecimento verificado, é natural que uma grande parte de seu esforço seja despendido na verificação de hipóteses que pareçam obviamente verdadeiras, mas que ainda não foram verificadas empiricamente.

Algumas pesquisas simples referentes a problemas descritivos podem ser conduzidas sem referência a uma estrutura de hipótese. Entretanto, a maior parte das pesquisas descritivas implica uma hipótese subjacente. Assim, por exemplo, dizer que o objetivo de uma pesquisa é simplesmente descobrir que doenças atacam os bovinos dos rebanhos de uma região é ignorar o fato de que o pesquisador deseja essa informação por alguma razão, e que essa razão possivelmente seja relacionada a uma teoria geral a partir da qual uma hipótese, como as seguintes, pode ser deduzida: a) os rebanhos atacados têm certas características referentes à raça, pastagem, condições climáticas e

técnicas de criação; b) as incidências das diversas doenças estão relacionadas com as condições ambientais; e c) doenças têm incidência mais elevada em rebanhos que não adotam as técnicas de criação recomendadas.

A formulação da hipótese é sempre recomendável, pois constitui um esforço mental que contribui para a objetividade da pesquisa e para que o pesquisador vença a relutância natural para raciocinar em termos conexos.

Uma **hipótese explicativa** ou **analítica** refere-se a uma relação causal de características. Busca descobrir se a alteração de uma característica implica em alteração de outra característica, ou, mais genericamente, se alterações em um conjunto de características implicam em alterações de um outro conjunto de características. Em outras palavras, uma hipótese explicativa busca descobrir se a manifestação de uma ou mais características influi na manifestação de uma ou mais outras características. O número de características em cada um dos dois grupos depende do propósito da pesquisa. Entretanto, em geral, é mais fácil e seguro considerar relações de poucas características. Assim, por exemplo, é muito mais fácil compreender a influência da temperatura sobre a incidência do míldio da videira do que a influência simultânea da temperatura, umidade e adubação sobre a incidência desse fungo.

Para um mesmo problema podem ser formuladas uma ou mais hipóteses. Por outro lado, hipóteses diferem em grau de utilidade, decorrente do nível de complexidade do problema. Uma hipótese simples pode ser uma mera generalização de uma observação empírica particular. Hipóteses mais complexas podem postular conexões entre eventos, ou cadeias elaboradas de relações casuais.

A formulação de uma hipótese adequada depende do conhecimento e da experiência do pesquisador. Entretanto, a imaginação do pesquisador é da maior importância. Pesquisadores de mesmo nível de conhecimento e experiência diferem no que diz respeito à criatividade, ou seja, à habilidade para a construção de hipóteses úteis e férteis.

Assim, não há um conjunto de regras que possa garantir a formulação da hipótese mais apropriada e frutífera. Entretanto, os seguintes atributos são essenciais para que uma conjectura seja uma hipótese científica:

- a) a hipótese tem que ter significado e ser formalmente correta;
- b) tem que estar baseada em conhecimento prévio e ser compatível com o corpo de conhecimento científico;
- c) deve ser relacionada logicamente com a teoria da qual é derivada;
- d) deve prover uma resposta ao problema particular que a suscitou;
- e) deve ser conceitualmente clara e não ambígua;
- f) deve ser plausível, ou seja, deve ser logicamente possível;
- g) deve ser expressa em termos objetivos e operacionais;
- h) deve ser tão específica e simples quanto possível;
- i) deve ser verificável empiricamente, ou seja, deve sugerir uma pesquisa através da qual possa ser testada;
- j) deve permitir uma decisão relativa ao problema;
- k) deve permitir um meio confiável de predição de eventos desconhecidos;
- l) deve incluir o critério de sua confirmação, ou seja, deve ser enunciada em termos que não deixem dúvidas referentes às respostas consideradas como confirmação. Isso implica que uma boa hipótese é geralmente enunciada de modo quantitativo; por exemplo, "O desbaste de frutos do pessegueiro aumenta o peso médio do fruto".

Muito freqüentemente, mais de uma hipótese pode ser formulada como provável solução de um problema de pesquisa. Nessas circunstâncias, esses requisitos devem ser empregados como critérios para sugerir que hipótese particular deve ser escolhida como a mais apropriada e frutífera.

Uma hipótese científica jamais é provada de modo definitivo e absoluto. Uma hipótese científica confirmada empiricamente é um fato científico, o que não é necessariamente a expressão exata da realidade. Uma hipótese é apenas confirmada ou não confirmada, segundo o grau de confirmação estabelecido. Um fato científico, ou seja, uma hipótese confirmada, é uma nova hipótese, presumivelmente com nível de fidedignidade mais elevado do que o original.

2.4.3 Busca e revisão das informações disponíveis

Após a avaliação cuidadosa e lógica das formulações do problema científico e da hipótese científica, o próximo passo é a busca de toda a informação que possa fornecer subsídio útil para a nova pesquisa, principalmente para avaliar a importância do problema proposto e para determinar se o problema e a correspondente hipótese são plausíveis e se conduzirão à adição de novo conhecimento. Essa busca compreende, principalmente, a consulta à literatura disponível referente à área da pesquisa, a consulta a pesquisadores experientes e a coleta e identificação de material e dados disponíveis que possam ser úteis para consideração na pesquisa a ser conduzida. Ela também deve compreender o levantamento de informações referentes a pesquisas semelhantes já executadas e às técnicas e procedimentos que possam ser úteis para adoção na nova pesquisa.

Objetivos e relevância

O exame da literatura, em particular, tem os seguintes objetivos e funções relevantes:

a) Avaliar a importância do problema proposto e determinar se o problema e a correspondente hipótese foram objeto de pesquisas anteriores, se são plausíveis e se conduzirão à adição de novo conhecimento. Na primeira situação, o problema pode já estar solucionado ou, possivelmente, o problema deva ser revisado, com a consideração dos resultados já obtidos.

A revisão da literatura pode evitar a repetição desnecessária de pesquisas já conduzidas. Originalidade completa é rara em campos de pesquisa mais avançados e, em algumas circunstâncias, pode ser justificável repetição. Assim, é importante que, antes da condução de uma pesquisa, o pesquisador esteja seguro de que sua pesquisa seja justificável por constituir alguma originalidade importante, possivelmente decorrente de especificidades referentes a novo ambiente ou a condições diferentes, ou por permitir confirmação de resultados de pesquisas já realizadas que atribua maior fidedignidade ao conhecimento existente.

b) Buscar a abordagem apropriada para a pesquisa. O levantamento de informações relativas a pesquisas semelhantes já executadas pode identificar técnicas e procedimentos que possam ser úteis para adoção na execução da pesquisa. Como um estrategista, o pesquisador tem que efetuar decisões sobre a abordagem e o conjunto de técnicas a utilizar, segundo sua avaliação referente à maior probabilidade de sucesso. A literatura pode indicar a fecundidade de abordagens particulares e sugerir caminhos e táticas alternativas. Essas indicações podem ser de grande valia para sugestão do plano mais eficaz para a solução de um problema.

Algumas vezes o melhor caminho é sugerido por um modelo encontrado na literatura, ou seja, uma forma paralela e mais simples, mas com a mesma estrutura ou organização do fenômeno sob pesquisa. Modelos simplificadores, físicos ou conceituais, são muito úteis para a explicação de estruturas complexas.

c) Identificar problemas metodológicos específicos que requeiram solução antes da condução da pesquisa, ou que devam ser levados em conta no plano da pesquisa, e colher sugestões sobre técnicas, instrumentos e outros recursos materiais que possam ser úteis para os propósitos da pesquisa.

d) Colher sugestões de técnicas, instrumentos e outros materiais específicos que possam ser da maior utilidade para utilização na pesquisa. Mesmo para um pesquisador experiente, o exame da literatura pode sugerir novas aplicações, refinamentos e mesmo interpretações de técnicas disponíveis.

e) Identificar possíveis dificuldades e perigos que possam surgir na condução da pesquisa. Essa informação pode permitir ao pesquisador precaver-se e adotar alternativas que evitem ou diminuam as dificuldades e evitem as falhas.

f) Contribuir para o discernimento de soluções possíveis para o problema. A formulação da questão apropriada é o problema mais difícil na ciência. Por outro lado, a descoberta ou invenção é resultado de discernimento superior ou feliz de relações entre fenômenos anteriormente confusas. O discernimento é freqüentemente auxiliado pelo exame da literatura. Mesmo que a literatura não contenha a resposta específica procurada, ela pode provocar especulação frutífera que contribua para o discernimento crítico, que é essencial para a descoberta e invenção. Certamente, a ciência estaria mais avançada se toda a informação útil já disponível na literatura fosse completamente explorada.

g) Prover dados. A utilização dos dados disponíveis é condição indispensável para a eficiência da pesquisa. A desconsideração de dados existentes é uma falha indesculpável numa pesquisa científica.

A habilidade na exploração dos recursos de biblioteca é uma qualidade indispensável do cientista. Sem interesse e habilidade para o exame da literatura, um cientista é fadado a falhar mesmo na mais modesta pesquisa.

Em campos onde o conhecimento tornou-se muito extenso, prolífero e ramificado e a pesquisa muito volumosa, o exame da literatura existente pode não ser suficiente para assegurar que o pesquisador esteja a par dos desenvolvimentos relevantes. Nessas circunstâncias, é necessária a correspondência pessoal com outros cientistas em atividade no mesmo campo de pesquisa. Essa comunicação também é indispensável quando a literatura disponível é tão deficiente que se torna infrutífera. Em todos os casos, o pesquisador competente faz todos os esforços para familiarizar-se com todo o conhecimento relevante, tanto durante o estágio inicial da pesquisa, enquanto está formulando sua hipótese, como durante seu planejamento.

A localização de informação relevante não é um problema simples. Muitas vezes uma idéia fértil resulta de uma síntese de fatos já conhecidos, mas não relacionados. Sem dúvida, a disponibilidade de fontes de referências organizadas provê oportunidades para novas descobertas ou invenções. O problema essencial nesse estágio da pesquisa é determinar quais dos materiais disponíveis são relevantes para a pesquisa em consideração, e localizar esses materiais.

A determinação do material relevante para um problema de pesquisa particular é uma decisão arbitrária que cada pesquisador deve tomar. A única regra geral é evitar os extremos, ou seja, sobrecarregar a pesquisa de material que se relacione apenas superficialmente com o problema ou considerar que nada de importante que se relacione com o problema foi realizado até então. O estabelecimento do meio termo apropriado é determinado apenas pela experiência. Em geral, a literatura essencial é aquela que possa contribuir para a escolha da metodologia e do material a ser utilizado na pesquisa e a que reporte resultados que a atual pesquisa possa utilizar como pressuposição ou tenha como propósito verificar e comparar.

Outra questão importante é a avaliação da relevância do material bibliográfico. A relevância está relacionada à validade, o que levanta a questão difícil da avaliação da validade do material publicado. Freqüentemente, é feita uma distinção entre fontes primárias ou originais e fontes secundárias ou derivadas. Fontes primárias são usualmente consideradas mais confiáveis. De fato, fontes primárias podem ser tão tendenciosas ou distorcidas como as originais, mas têm a vantagem de não conter as

distorções adicionais incluídas pelos autores subseqüentes. Por essa razão as fontes primárias devem ser preferidas.

De qualquer maneira que sejam respondidas as questões de relevância, confiabilidade e validade das fontes de informação, o pesquisador metódico inicia a implementação de sua pesquisa pela reunião de uma bibliografia. Essa compilação serve dois propósitos principais: a) prover uma lista de fontes que forneçam a estrutura ou cenário do problema, e b) denotar as fontes específicas que serão utilizadas diretamente na pesquisa. Para esses propósitos, é imperativo que a bibliografia seja desenvolvida e organizada de modo sistemático. Para tal, devem ser empregadas técnicas apropriadas. Esse assunto é tratado em textos específicos.

A leitura da literatura deve ser feita com uma atitude reflexiva crítica para que não sejam perdidas a originalidade e a perspectiva. A mera acumulação de informação não é suficiente.

Fontes de informação

Para adquirir conhecimento básico em um campo particular, é aconselhável iniciar com a leitura de publicações com abordagens gerais, como uma enciclopédia. Pode-se seguir com a leitura de um texto um pouco mais detalhado, como um manual. Nessa altura, pode ser conveniente proceder ao exame de índices de bibliotecas ou catálogos de livros para a identificação de livros sobre o tema de interesse. Se forem encontrados livros especializados recentes com bibliografia suficiente, a busca pode encerrar-se aqui. Nesse caso, o próximo passo será obter as fontes originais das indicações desses livros.

Usualmente, entretanto, não há um livro completo ou atualizado. Então, será necessário procurar artigos que apresentem levantamentos ou revisões, em revistas periódicas especializadas ou em alguma publicação anual com esses propósitos. Essas fontes podem ser muito úteis para proverem orientação e referências.

Freqüentemente, torna-se necessária a consulta a revistas de resumos. Em geral, é conveniente que essa busca seja procedida de modo retrospectivo, a partir do presente até a obtenção da desejada cobertura.

O estágio final é a leitura dos artigos originais atuais. A essas alturas, o pesquisador terá conhecimento da lista de revistas mais prováveis de conterem artigos sobre o tema de sua pesquisa e dos principais autores no campo.

Cada artigo conterá referências a trabalhos anteriores. Dessa forma, a procura pode ser conduzida para o passado, com o propósito de obter referências não encontradas nas revistas de resumos.

Em última instância, o meio mais eficaz de encontrar referências é a consulta a pesquisadores experientes, se são acessíveis.

De modo geral, é recomendável que o exame da literatura proceda do geral para o particular. A estrutura do material bibliográfico referente a um dado campo, em ordem decrescente de generalidade, é indicada a seguir:

- Enciclopédias

As fontes mais gerais são as enciclopédias, que podem ser úteis para a aquisição de uma primeira visão de uma área. *Encyclopaedia Britannica*, por exemplo.

- Guias de literatura

Em segundo nível de generalidade estão as publicações indicativas, relatórios e guias destinados a uma área particular, que listam a literatura básica constituída por livros, revistas de revisão, resenhas e resumos, e as principais revistas que publicam artigos técnico-científicos. Por exemplo, *Guide to the Literature of the Zoological Sciences*, *Manual of Reference Sources in Chemistry* e *Entomological Nomenclature and Literature*.

- Manuais

No próximo nível, estão os manuais e livros de referência que apresentam de modo compreensivo e resumido o estado do conhecimento em uma área. Essas referências servem como material sumário no campo. Por exemplo, *A Dictionary of Applied Physics* e *Encyclopedia of Chemical Technology*.

- Livros

O nível seguinte de especialização é constituído pelos livros disponíveis na área. Os livros textos e monografias provêm o material básico e muito freqüentemente são bom início para a revisão da literatura. Os melhores livros provêm uma introdução ao tópico de pesquisa e um resumo da literatura publicada até a data em que o livro foi escrito. Pode ser difícil encontrar os livros importantes referentes a um assunto. A procura pode iniciar pelo índice de assuntos ou nas próprias prateleiras de uma boa biblioteca. Naturalmente, essa busca depende da acessibilidade de uma boa biblioteca.

Há listas de livros científicos que podem ser úteis, embora nenhuma delas seja completa. Por exemplo, *The Cumulative Book Index* e *Bulletin Critique du Livre Français*. Indicações úteis podem ser obtidas pela busca em listas providas por vendedores de livros via Internet, como a *Amazon*.

- Revistas especializadas

Há um número crescente de revistas nacionais e internacionais de circulação periódica (mensal, trimestral ou anual), que são publicadas por sociedades científicas, instituições de pesquisa e editoras comerciais, que publicam artigos técnico-científicos. Essas revistas são fontes indispensáveis de informação e atualização dos avanços da pesquisa em campos especializados do conhecimento. Por exemplo, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *Bragantia*, *Revista Brasileira de Zootecnia*, *Crop Science*, *Journal of Food Science*, *Journal of Bacteriology*, *Journal of Virology*, *Journal of Parasitology*, *Current Biology* e *Current Genetics*.

- Resenhas e revisões

São publicações que apresentam o desenvolvimento ordenado e sistemático do conhecimento científico em áreas particulares, usualmente escritas por pesquisadores renomados e autores convidados. Por exemplo, *Critical Reviews in Immunology*, *Critical Reviews in Biotechnology*, *Nutrition Review*, *Physiological Reviews*, *Advances in Food Research*, *Immunological Reviews* (cada volume dedicado a um tema específico) e *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*.

- Revistas de resumos e indexação

As revistas de resumos e revistas de indexação em áreas particulares são fontes de informação valiosas referentes a artigos correntes e publicações especializadas. Essas publicações são a principal orientação para o pesquisador que busca artigos em tópicos específicos. Também constituem um dos principais recursos para atualização com o progresso científico. São exemplos de revistas de resumos: *Chemical Abstracts Services*, *Cambridge Scientific Abstracts*, *Biological Abstracts*, *Food Science and Technology Abstracts* e *Entomological Abstracts*. As revistas de indexação informam os conteúdos das revistas mais importantes, por área de conhecimento; com variadas facilidades de informação, como índices por títulos, autores e assuntos. Por exemplo, *Current Contents*, *Research Alert*, *Science Citation Index*, *Bioresearch Index* e *Alerta Bibliográfico*.

Informações sobre bibliografia e particularmente cópias de textos de artigos técnico-científicos podem ser obtidas de bases de dados bibliográficos gerais e mais especializadas, acessíveis através de serviços de "comutação bibliográfica" disponíveis em bibliotecas. Os conteúdos dessas bases ou sistemas de recuperação de informação (BIOSIS Database, por exemplo) podem ser consultados através de indicação de palavras-chaves que caracterizem a área específica para a qual se queira ter informação sobre os artigos existentes.

O avanço da Internet está tornando essas fontes de informação disponíveis “online” a custos acessíveis para aquisição institucional.

Uma gama variada e crescente de informação também está sendo disponibilizada na Internet, muita da qual de livre acesso e sem custo. Essas informações podem ser acessadas através de mecanismos de busca providos por empresas especializadas, tais como Google (“<http://www.google.com>”), Yahoo (“<http://www.yahoo.com>”) e Teoma (“<http://www.teoma.com>”). Esses serviços de busca são usualmente oferecidos por provedores de serviços de Internet, como UOL e Terra.

Exercícios 2.2

1. Explique porque a observação envolve algum grau de julgamento subjetivo.
2. Caracterize e ilustre o que é comumente denominado "variabilidade natural" dos sistemas de uma população.
3. Explique e ilustre o significado de característica das unidades de uma população objetivo.
4. Qual é a razão da necessidade de mensuração de características?
5. Distinga e ilustre os significados de característica e variável.
6. Explique e ilustre os conceitos de inferência dedutiva e inferência indutiva.
7. Qual é a razão da importância da inferência indutiva em ciências fatuais?
8. Porque a inferência indutiva em ciências fatuais é incerta?
9. Como o processo de inferência indutiva na ciência pode ser justificado com fundamentação na estrutura do raciocínio silogístico?
10. Defina e ilustre os conceitos de problema científico e hipótese científica com exemplo de sua área.
11. Explique a relação de problema científico e hipótese científica com objetivo de uma pesquisa científica.
12. Explique a aparente contradição entre o conjunto de estágios que caracterizam uma pesquisa científica e o fato de algumas pesquisas específicas compreenderem apenas um subconjunto desses estágios.

2.5 Objetivos de uma Pesquisa Científica

O objetivo de uma pesquisa científica é a verificação de uma hipótese científica referente a um problema científico particular. Assim, segundo o propósito da formulação do problema científico e da hipótese científica que lhe originam, o objetivo de uma pesquisa científica pode ser: descritivo ou explicativo. Um objetivo inicial ou preliminar em alguns programas de pesquisa é o exploratório.

Na prática, esses três objetivos ou funções não são mutuamente exclusivos e, muito freqüentemente, uma pesquisa científica pode combinar dois desses objetivos, ou todos os três. As características essenciais desses três objetivos são esclarecidas a seguir.

Pesquisa exploratória

A função de uma pesquisa exploratória é o exame de uma área para verificar e estabelecer os caminhos de pesquisa mais férteis. Seus principais propósitos são: identificação e formulação mais precisas de problemas e de hipóteses; identificação de características relevantes e investigação da praticabilidade de técnicas de pesquisa. De modo geral, a ênfase principal de uma pesquisa exploratória é a descoberta de problemas, de temas, de áreas e de técnicas para pesquisa mais intensiva.

Pesquisas exploratórias bem organizadas são particularmente importantes em áreas da ciência iniciantes ou em desenvolvimento, especialmente em áreas onde ainda não foram formuladas teorias frutíferas, onde ainda não foram descobertas muitas das características influentes, onde ainda não foram verificadas a amplitude e a quantidade das unidades, e onde ainda é desconhecida a demanda de pesquisa. Também podem

ser importantes para responder questões práticas referentes a procedimentos de pesquisa.

Qualquer que seja o propósito, a pesquisa exploratória é a melhor segurança contra o risco sempre presente de que um projeto de pesquisa de grande escala possa fracassar pelo surgimento inesperado de obstáculos não previstos. A prudência sugere que não deve ser tentado um grande esforço de pesquisa até que a evidência de pesquisa exploratória indique claramente a exequibilidade e a chance de sucesso do plano de pesquisa final.

Pesquisa descritiva

Uma pesquisa descritiva tem como propósito principal a caracterização do comportamento das unidades de uma população objetivo através da mensuração, descrição e representação sistemática de suas características relevantes. Basicamente, a pesquisa descritiva tenta responder questões do tipo: “quem?”, “qual?”, “onde?”, “quando?” e “quanto?”. Sua função é fundamentalmente retratar e relatar.

Pesquisas descritivas freqüentemente também envolvem a identificação e descrição de relações de associação (ou seja, de covariação ou variação conjunta) de características. Em algumas pesquisas essa informação é utilizada para a derivação de inferências referentes a relações de características para propósitos de predição. O princípio básico é encontrar características das unidades que se correlacionem com o comportamento que é desejado predizer e que sejam mensuráveis até o momento em que é efetuada a predição. Observe-se que pesquisas descritivas podem prover uma base confiável para predição; entretanto, não são apropriadas para a explicação da natureza da relação envolvida.

Em contraste com a pesquisa exploratória, a pesquisa descritiva é caracterizada pela formulação a priori de problemas de pesquisa. Usualmente, o pesquisador já tem conhecimento substancial para a formulação do problema de pesquisa, possivelmente como resultado de uma pesquisa exploratória. Esse conhecimento lhe permite a definição clara dos objetivos da pesquisa, particularmente das características relevantes que devem ser mensuradas.

Pesquisa explicativa

Embora informações descritivas sejam freqüentemente úteis para predição, sempre que possível é desejável conhecer as “causas” dos efeitos que estão sendo preditos e a relação dos efeitos com as causas. Em parte, pelo desejo natural do homem de compreensão; mas a razão mais importante é que o conhecimento das causas quase sempre aumenta a habilidade tanto para a predição como para o controle dos efeitos. Por essa razão, a pesquisa explicativa é vital para a geração de conhecimento confiável.

A função básica da pesquisa explicativa (ou pesquisa analítica) é explicar relações causais entre fenômenos. Ela é relacionada com respostas a questões “como?” e “porque?” Seu propósito é avaliar o *que* e, principalmente, *como* ou *porque* acontece *quando* uma ou mais características afetam uma ou mais outras características. Em outras palavras, a função da pesquisa explicativa é avaliar e expressar relações causais significativas e previsíveis de um conjunto de características com um outro conjunto de características. Deve ser lembrado que, na ciência, essas relações somente podem ser expressas em termos de relações prováveis, não em termos de relações exatas.

Observe-se que a distinção entre pesquisa descritiva e pesquisa explicativa envolve uma questão semântica complexa. Realmente, há uma diferença muito pequena entre descrever alguma coisa e explicá-la. Por exemplo, dizer que a chuva ocorre quando o nível de precipitação atinge um certo grau de concentração é tanto a descrição de uma ocorrência como a explicação de uma relação. O mesmo ocorre no caso da descrição ou explicação de qualquer relação seqüencial, como a disseminação de uma doença e o crescimento de um animal. Sob o ponto de vista prático, o termo “pesquisa descritiva” é

geralmente empregado quando o propósito principal da pesquisa é revelar as características, as propriedades, as freqüências, ou a extensão das unidades, enquanto que o termo "pesquisa explicativa" é geralmente empregado para denotar um exame das relações existentes entre características de unidades já descritas.

2.6 Processo e Organização da Pesquisa Científica

Conforme salientado na **Seção 1.6.1**, o processo fundamental do método científico pode ser resumido como uma repetição cíclica de fases de síntese, análise e síntese. Em cada ciclo, comporta uma visão do problema referente aos sistemas globais (síntese), quando estes são formulados em certo nível de agregação, e sua partição em problemas mais simples referentes a partes (subsistemas) daqueles sistemas que sejam passíveis de pesquisa científica explicativa (análise). Os resultados obtidos dessas pesquisas analíticas são integrados nos sistemas globais (síntese).

A análise para a caracterização de problemas científicos referentes às unidades de uma população objetivo compreende a decomposição sucessiva desses sistemas e, correspondentemente, do problema global referente a esses sistemas, em subsistemas e problemas mais específicos, até o ponto em que os subsistemas se tornem suficientemente simples e os correspondentes problemas suficientemente específicos de modo que possam ser passíveis de tentativas de soluções com base no conhecimento científico existente e com os recursos disponíveis. Cada um desses problemas específicos é um **problema científico** ou **problema de pesquisa**. Para cada um desses problemas pode ser estabelecida uma ou mais conjeturas de solução, alternativas ou complementares, que possam ser verificadas empiricamente. Cada uma dessas conjeturas constitui uma **hipótese de pesquisa**. A verificação de cada uma dessas hipóteses é procedida através de uma pesquisa particular, ou seja, de uma **ação de pesquisa**.

A análise do problema global é procedida até a identificação de problemas científicos unitários. Essa análise gera um conjunto sistêmico de problemas científicos. Esse conjunto de problemas tem que ser organizado, pelo menos provisoriamente, em uma estrutura que estabeleça uma ordem de prioridade lógica que leve em conta as implicações mútuas. Essa ordenação de problemas de pesquisa é parte da estratégia da pesquisa científica e deve ser esboçada, pelo menos esquematicamente, para que a pesquisa científica seja frutífera. O caráter sistemático e seqüencial da pesquisa científica pode requerer alterações da ordenação dos problemas de pesquisa no curso das atividades de pesquisa, na medida em que os resultados lancem novas luzes sobre os problemas iniciais e na medida em que se apresentem novos problemas que não haviam sido identificados quando a estratégia inicial foi estabelecida.

Assim, o processo de pesquisa é dinâmico e reiterado ao longo do tempo. Indicações de resultados de pesquisa são incorporadas nos sistemas atuais e novos problemas de pesquisa são identificados, renovando-se o processo.

Ações de pesquisa também são executadas para a própria identificação de problemas e de hipóteses de pesquisa férteis, e para a verificação do comportamento dos sistemas alterados com a incorporação de novas tecnologias indicadas pela pesquisa.

A implementação desse processo requer uma estratégia de escolha, em cada uma de suas etapas, de um conjunto de ações de pesquisa, condicionada pelos recursos existentes. O conjunto das ações de pesquisa planejadas para execução em um dado momento constitui um **programa de pesquisa**. Esse processo é esquematizado na **Figura 2.4**.

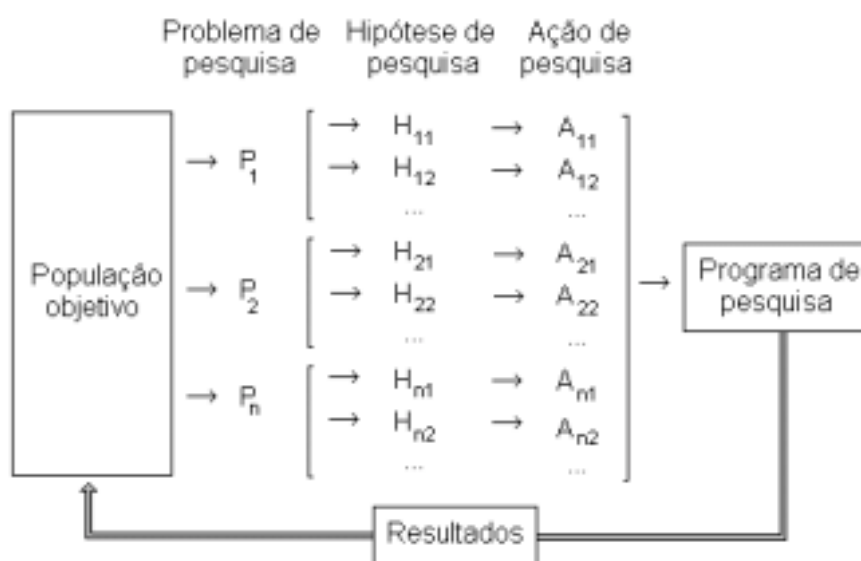


Figura 2.4. Ilustração esquemática do processo de derivação de ações de pesquisa para a melhoria do desempenho dos sistemas de uma população.

Para a organização apropriada da atividade de pesquisa é conveniente o estabelecimento de uma taxonomia da pesquisa nos diversos níveis entre o problema global referente aos sistemas e os mais específicos relativos aos subsistemas mais elementares. Critérios arbitrários são usualmente utilizados com esse propósito. Assim, por exemplo, uma estruturação da pesquisa pode compreender a definição de **projetos de pesquisa** no âmbito correspondente aos problemas mais genéricos dos sistemas sob pesquisa e **ações de pesquisa** no âmbito dos problemas mais específicos, ou seja, de problemas científicos. Ações de pesquisa também podem ser definidas nas fases de identificação de problemas e de incorporação de indicações de pesquisa aos sistemas atuais. Em nível intermediário, podem ser definidos **subprojetos de pesquisa**, compreendendo ações de pesquisa de áreas ou disciplinas afins. O conjunto dos projetos constitui o programa de pesquisa.

Dessa forma, um projeto de pesquisa visa a solução de um conjunto de problemas relacionados referentes a um subsistema do sistema global. Ele compreende um conjunto de hipóteses constituídas por conjeturas de soluções desses problemas e correspondentes ações de pesquisas destinadas à verificação dessas hipóteses. Usualmente, também inclui ações de pesquisas exploratórias e descritivas que visam, principalmente, a identificação de problemas e hipóteses de pesquisa e a verificação da integração dos resultados de pesquisa nos sistemas.

2.7 Trabalho de Pesquisa

2.7.1 Papel do pesquisador na ciência

O cientista ou pesquisador é o indivíduo que emprega rigorosamente o método científico na busca do conhecimento e que, em última instância, constrói a ciência. O pesquisador deve procurar e provar a natureza ativamente para descobrir relações ordenadas. Para tal, ele deve ter algumas qualidades importantes; entre elas: curiosidade, paciência, objetividade e tolerância a mudanças.

Curiosidade

A aquisição de novo conhecimento é o resultado da descoberta de leis naturais. O ponto de partida de uma pesquisa científica é uma questão de uma das formas: “o que?”,

“quando?”, “porque?”, “como?”. Para responder essas questões o cientista deve ser inquisitivo, deve ser curioso e jamais deve pensar que a solução final foi alcançada, pois isso significaria a conclusão do processo científico. O pesquisador deve manter a mente aberta e flexível; caso contrário, ele se tornaria incapaz de perceber eventos não usuais. Essa característica também permite ao pesquisador as descobertas acidentais que freqüentemente ocorrem na ciência.

Paciência

O lento progresso da ciência decorre da complexidade da natureza. Apenas a habilidade do pesquisador permite avanços significativos do conhecimento científico. Descobertas significativas são usualmente resultados de muitos meses ou anos de trabalho penoso e tedioso. Sucessos são freqüentemente precedidos de muitas falhas e de tentativas de correções. Assim, o cientista deve ser paciente e persistente e deve satisfazer-se com poucas e distantes recompensas.

Objetividade

A objetividade é um dos pré-requisitos da pesquisa científica. Idealmente, a opinião e a atitude pessoal do pesquisador não deve afetar suas observações. Entretanto, sendo o pesquisador um ser humano, a objetividade perfeita é inviável. Por mais que tente eliminar a tendência pessoal, o pesquisador é incapaz de completamente evitar que suas idéias e expectativas influenciem a pesquisa que conduz.

Tolerância a alterações

A pesquisa científica busca a alteração do conhecimento. O pesquisador está permanentemente imaginando novos métodos e técnicas para a pesquisa. Quando falha uma abordagem particular para um problema, deve ser imaginada uma nova abordagem. Quando cessa a mudança, cessa o processo científico porque, então, continua-se a aceitar e confiar em fatos antigos. Mudança não significa necessariamente abandono de todos os fatos e métodos do passado; significa apenas que o pesquisador deve exercer a crítica do passado e estar constantemente alerta para fatos e técnicas que possam representar algum avanço.

O pesquisador também deve ter outras características especiais que são requeridas de todos profissionais de nível superior, particularmente: vocação, preocupação com o desenvolvimento profissional, colaboração, comunicação, criatividade, discriminação, entusiasmo, exatidão, firmeza, honestidade, imaginação, liberalidade, moralidade e perseverança.

2.7.2 Equipe de pesquisa

O avanço do conhecimento científico tornou o trabalho de pesquisa científica extremamente complexo. Como conseqüência, a pesquisa científica se tornou uma empresa multidisciplinar, que deve ser exercida por uma equipe de especialistas que devem atuar cooperativamente nas diversas fases de sua execução. Naturalmente, a participação mais intensa de cada membro particular é mais requerida em fases específicas.

Idealmente, uma equipe de pesquisa deve ser constituída por especialistas competentes nas diversas disciplinas relacionadas à área de pesquisa. Essa situação é raramente observada. Entretanto, ela deve ser perseguida, para que seja logrado o mais próximo do ideal.

A liderança e a coordenação de uma equipe de pesquisa é altamente importante para a eficiência de sua atuação. O líder de pesquisa deve ser um pesquisador experiente e competente, com habilidade para manter o interesse e a harmonia necessária para o perfeito funcionamento do trabalho em equipe, e de estabelecer os

canais de comunicação com a comunidade beneficiada pela pesquisa e a comunidade científica.

O contato dos pesquisadores com os problemas reais é altamente relevante para o sucesso da pesquisa. É necessário que os pesquisadores, particularmente aqueles com maiores responsabilidades no empreendimento da pesquisa científica, estejam em contato com os problemas e que estabeleçam estratégias adequadas para que as pesquisas sejam relevantes e tenham seus resultados aplicados na prática. De fato, o objetivo fundamental da pesquisa científica, particularmente da pesquisa experimental, é servir à comunidade em que se insere.

A orientação adequada para a eficiência da pesquisa requer conhecimento e experiência da equipe de pesquisa, particularmente:

- conhecimento profundo da área de pesquisa, em particular das unidades da população objetivo; na agricultura, por exemplo, conhecimento dos sistemas de produção, das condições econômicas e sociais das empresas agrícolas, das exigências do mercado, da variação dos custos e do valor do produto, da valorização da qualidade do produto, etc.;
- conhecimento dos resultados das pesquisas conduzidas anteriormente, na região ou em outras regiões semelhantes; em particular, conhecimento da literatura existente; e
- conhecimento da bagagem de experiência dos produtores mais progressistas, adquirida ao longo de anos de observação e experiência.

Esses conhecimentos são indispensáveis para a maior amplitude de visão dos problemas que demandam pesquisa e de suas possíveis soluções, e para o embasamento do planejamento das pesquisas.

Esses e outros requisitos poderão evitar a execução de pesquisas que antecipadamente se possa prever que quaisquer que sejam seus resultados serão inadequados para as condições da população objetivo e das exigências do mercado.

Aparentemente, a pesquisa científica é a atividade técnica em que se observa mais desperdício de recursos. Em uma atividade criativa é natural que muitos empreendimentos não logrem o sucesso almejado. Ademais, uma pesquisa com resultado negativo não é necessariamente um trabalho perdido. Muitas vezes um resultado negativo é útil por si ou por oferecer indicações para caminhos de pesquisa mais férteis. Entretanto, deve ser reconhecido que muitas pesquisas são ineficazes e não logram a consecução de seus objetivos. Em parte em decorrência de limitação de recursos e de condições estruturais para a atividade de pesquisa. Mas em grande parte em decorrência de deficiências da própria orientação e disciplina dessa atividade.

É usualmente reconhecido que instituições de pesquisa têm acumulado um grande número de resultados de pesquisas não analisados, não interpretados e não divulgados. Ademais, não são raros experimentos conduzidos repetitivamente por longo tempo, sem a necessária avaliação de seu desenvolvimento.

A dedução lógica, muito freqüentemente reconhecida, mas raramente levada a sério, é a saliente pouca atenção que tem sido dedicada ao planejamento e à análise dos resultados da pesquisa. De fato, observa-se, em geral, que os pesquisadores dedicam muito pouco tempo e esforço ao planejamento da pesquisa. O planejamento é o ponto de partida e dele depende a utilidade dos resultados da pesquisa. A maior parte das pesquisas tecnológicas tem propósito de gerar recomendações bem definidas. É fundamental, então, que tais recomendações sejam derivadas com elevado nível de segurança. Esses desideratos somente podem ser logrados por planejamento racional, que tenha em conta os objetivos da pesquisa, que use mais eficientemente os recursos existentes e que adote a metodologia disponível que seja mais apropriada para a consecução desses objetivos.

2.8 A Estatística na Pesquisa Científica

2.8.1 O método científico e a estatística

O sucesso da física newtoniana, suportada pela matemática aplicada desenvolveu e fortificou a visão determinista da ciência clássica dos séculos 17, 18 e 19. De fato, o sucesso da aplicação da mecânica de Newton na física e na engenharia estimulou matemáticos à busca de uma lei universal determinista, a partir da qual todos os fenômenos pudessem ser preditos. É atribuído ao matemático Laplace ter proclamado: "Uma vez eu tenha descoberto a lei universal, então, dadas as posições iniciais e as velocidades de todas as partículas neste mundo, eu poderei prever a história futura". O trabalho científico ensinou mais modéstia aos cientistas modernos, que de há muito abandonaram o sonho de uma visão determinista. A pretensão de Laplace foi rechaçada como impossível pelo princípio da incerteza de Heisenberg, com o advento da mecânica quântica de Max Plank. Assim, mesmo a física, a líder das ciências exatas, deixou de ser determinista.

A Estatística é parte da abordagem científica moderna da incerteza. Sua teoria pode ser descrita como a "matemática da incerteza". A lei universal determinista a partir da qual todos os fenômenos poderiam ser preditos exatamente foi abandonada. A abordagem científica moderna admite que as "leis" podem prever apenas "expectativas", e que as observações reais podem diferir destas por "erros aleatórios". É o estudo desses erros que habilita a predições sob incerteza. A matemática da incerteza que governa esses erros é o cálculo de probabilidades.

A estatística, entretanto, não pode ser identificada com o cálculo de probabilidades. Porque a estatística é uma ciência aplicada. Suas inferências dependem vitalmente de conceitos das áreas particulares às quais a estatística é aplicada. Por essa razão, ela é comumente identificada com suas áreas de aplicação, assumindo designações específicas em muitos casos, tais como estatística experimental, biometria, bioestatística, econometria e sociometria, por exemplo.

Alguns pensam que a estatística não é mais do que um auxílio à ciência, ao qual o pesquisador recorre quando lhe aprouver. No outro extremo, estão aqueles que consideram que a estatística tem atributos mágicos para extrair informações de dados de pesquisas mal conduzidas. Essas idéias errôneas da função da estatística decorrem da ignorância do método científico. A estatística é parte integrante do método científico. O conhecimento de sua função e importância na pesquisa científica depende do conhecimento do próprio método científico.

O desenvolvimento da estatística tem decorrido da demanda do progresso científico e tecnológico. Está intimamente relacionado ao desenvolvimento do método científico e ao avanço das diversas áreas da ciência. O progresso da ciência neste século tem sido a fonte para o extraordinário desenvolvimento da estatística.

É notável que o desenvolvimento da estatística moderna iniciou-se na pesquisa agrícola. Na segunda década deste século, as pesquisas da Estação Experimental de Rothamsted, na Inglaterra, iniciadas em 1843, tinham gerado um considerável volume de dados. Isto levou seu diretor, John Russell, a procurar, pela primeira vez, um especialista para analisar essa informação numérica, contratando o matemático Ronald Fisher. As expectativas de Russell foram mais que superadas, já que Fisher, no decurso de apenas 14 anos em Rothamsted, desenvolveu a teoria e os métodos de que foi necessitando e que se tornaram a base da estatística moderna. No ambiente propiciado por Rothamsted, Fisher conseguiu a aplicação prática de sua teoria da inferência estatística e conclusões relevantes para a pesquisa científica. Entre elas, a de que a quantidade de informação gerada pelas inferências de uma pesquisa não pode ser maior do que à contida nos dados. Conseqüentemente, o processo de geração de dados passou a assumir uma importância fundamental. Fisher logo compreendeu que, enquanto os mais elaborados procedimentos estatísticos de análise de dados podem incrementar a precisão em alguns

pontos percentuais, um plano experimental mais apropriado, envolvendo praticamente o mesmo esforço, pode duplicar a precisão ou aumentá-la muito mais, podendo, além disso, fornecer informação adicional sobre importantes questões suplementares.

A partir das contribuições de Fisher para a pesquisa científica agrícola, os novos métodos estatísticos passaram a aplicar-se a outras áreas da ciência e da tecnologia. Os desenvolvimentos científicos nas diversas áreas, por sua vez, demandaram novas metodologias estatísticas particulares que também se tornaram, em geral, aplicáveis às demais áreas.

O desenvolvimento da base conceitual e metodológica da pesquisa científica, em particular da pesquisa experimental, de planos mais apropriados para as circunstâncias de cada pesquisa, bem como de métodos mais objetivos e eficientes de análise de dados, têm incrementado as possibilidades, a velocidade e a confiabilidade da pesquisa. Entretanto, a eficácia da pesquisa moderna depende não apenas de conhecimento especializado na área de pesquisa particular, mas, também, fundamentalmente, do conhecimento do método científico, que inclui o método estatístico.

Esse desenvolvimento metodológico tem decorrido, em grande parte, do vasto incremento da capacidade de computação que se tornou disponível, principalmente a partir da década de 1960. As crescentes facilidades de computação têm permitido maiores possibilidades aos pesquisadores para decisões referentes ao melhor uso dos recursos disponíveis para a pesquisa; em particular, para melhor planejar as pesquisas e analisar seus dados mais adequadamente, logrando a exploração mais eficiente da informação provida pelas pesquisas.

Esses desenvolvimentos têm implicado considerável impacto nas atividades dos pesquisadores, incluindo os estatísticos, cujo efetivo exercício demanda mudanças de interesse e de atitude. Um requisito fundamental é a permanente capacitação e atualização, particularmente para a compreensão dos métodos e procedimentos implementados nos “pacotes” de computação. De fato, as poderosas facilidades disponíveis para a análise de dados não podem ser utilizadas adequadamente sem a compreensão dos métodos implementados e, se utilizadas incorretamente, podem conduzir a resultados enganosos.

Um fato notório é que, apesar da consolidação do método científico, particularmente do método estatístico há mais de meio século, os conceitos básicos ainda não são do domínio de muitos pesquisadores. Conseqüentemente, o impacto desse desenvolvimento metodológico ainda não é sentido tão amplamente como seria de esperar.

Esse atraso não é explicado apenas pela demora natural da incorporação de resultados teóricos à atividade prática. O divórcio que persiste entre a teoria e a prática tem diversas origens, entre elas: falhas no ensino e na transmissão de conhecimentos através de textos, falta de infra-estrutura e recursos materiais nas instituições de pesquisa, obstáculos institucionais e falta de vocação de pesquisadores. Da primeira e da última origem decorre outra causa não menos importante: a atitude ritualista de muitos pesquisadores que tendem a aderir, a copiar e a utilizar idéias, conceitos, métodos e procedimentos, mecanicamente, sem qualquer atitude crítica.

2.8.2 Uso e mau uso da Estatística

Há um dito popular de que é possível provar qualquer coisa com a estatística. Isso pode ser verdadeiro para a má aplicação da estatística. De fato, qualquer conclusão desejada pode ser obtida com a manipulação intencional e tendenciosa de dados. O inverso é que se aplica adequadamente para a estatística: é impossível provar qualquer coisa pela aplicação correta de métodos estatísticos. O que os métodos estatísticos provém é a avaliação da probabilidade de erro de uma proposição, ou da confiança que pode ser posta no resultado de uma pesquisa científica. Na realidade, um pouco de reflexão mostra que isso é tudo que pode ser esperado. Não há prova, por exemplo, de

que o sol nascerá amanhã. Entretanto, a experiência indica que é muito provável que isso ocorra e, de fato, o homem está satisfeito em acreditar que o sol continuará a nascer a cada manhã, em concordância com as observações prévias e com as leis científicas nelas baseadas.

Em particular, os métodos estatísticos não provêm qualquer prova absoluta da eficácia dos tratamentos de um experimento. Entretanto, os métodos estatísticos capacitarão o pesquisador a estimar a probabilidade do continuado comportamento desses tratamentos no nível indicado por seu experimento.

Suponha-se, por exemplo, que um experimento seja conduzido para estimar o efeito da suplementação da dieta com um ingrediente particular sobre o crescimento de cordeiros. O experimento pode indicar que o suplemento aumenta o peso corporal de um animal ao desmame em, na média, 2,5 kg. Esse resultado, entretanto, não provê qualquer prova de que seria observado um crescimento semelhante, ou mesmo qualquer crescimento, se o experimento fosse repetido sob condições semelhantes. O experimentador poderá ficar com dúvida considerável sobre a valia de suas conclusões.

O uso de um plano experimental com base estatística seguido da apropriada análise estatística dos resultados não removerá necessariamente tal dúvida, mas permitirá ao pesquisador atribuir um valor à confiabilidade de seu resultado. Se ele estiver interessado apenas na demonstração da existência de um efeito do suplemento, ele poderá estimar com que freqüência tal resultado surgirá se o efeito não existe, e usá-la como uma base para suas conclusões. Por exemplo, se ele for capaz de demonstrar que diferenças tão ou mais extremas do que as que ele obteve ocorreriam menos do que uma vez em mil se o suplemento não tivesse qualquer efeito, ele estará razoavelmente seguro em desconsiderar a possibilidade de sua ineficácia e concluir que a suplementação é eficaz. Todavia permanece a possibilidade de ela ser ineficaz, mas, agora, alguma medida da possibilidade é disponível e pode ser usada para demonstrar a plausibilidade da existência de um efeito do suplemento.

É usualmente reconhecido que o emprego de métodos estatísticos pode contribuir grandemente para a eficiência da pesquisa científica e, particularmente, para a validade das inferências que ela deriva. Entretanto, o desconhecimento dos fundamentos dos métodos estatísticos, especialmente no que diz respeito aos requisitos para a validade de suas aplicações, conduz, freqüentemente, ao seu mau uso. Muitas vezes, a estatística é usada como uma muleta para pesquisa mal concebida e mal conduzida. Muito freqüentemente, a estatística é empregada em boa fé, mas com atenção insuficiente para as pressuposições requeridas para a validade dos métodos empregados. Por essas e outras razões, é necessário que o pesquisador, usuário dos métodos estatísticos, compreenda claramente as técnicas que ele emprega.

Saliente-se que o uso de metodologia estatística não salva uma pesquisa mal planejada ou mal conduzida. De nada adianta a utilização de métodos estatísticos, algumas vezes sofisticados, para a análise de dados de pesquisas falhas, cuja qualidade é questionável. A utilização da estatística nesse caso pode conduzir a resultados ilusórios e enganosos. Por essa razão, não é demais reiterar a relevância que deve ser atribuída aos cuidados no planejamento e na condução da pesquisa. Para a maior garantia de tais cuidados é conveniente que o processo de pesquisa cumpra um ritual sistemático que garanta a apropriada consideração de cada aspecto importante, em cada uma de suas etapas. Para tal, é importante a participação, na época apropriada, de todos os pesquisadores de áreas específicas que possam contribuir para a execução da pesquisa. Em particular, a participação de especialista em estatística deve iniciar-se, pelo menos, na fase de planejamento, quando são tomadas as definições referentes à metodologia, que implicam na adequação do plano e dos conseqüentes métodos de análise estatística aos objetivos e condições da pesquisa.

2.8.3 Conhecimento da estatística pelos pesquisadores

Questões naturais dizem respeito ao domínio de conhecimento do método estatístico que os pesquisadores nas diversas áreas devem possuir para que possam cumprir suas funções apropriadamente, à demanda de especialistas em estatística nas equipes multidisciplinares de pesquisa, e à organização institucional dessas equipes. Em geral, instituições de pesquisa de países desenvolvidos têm resolvido essas questões de diversas maneiras. Entretanto, elas constituem problemas sérios ainda não solucionados em muitos países em desenvolvimento, como o Brasil, e que têm tido impacto negativo para o desenvolvimento científico e tecnológico desses países. Esses problemas decorrem de deficiência e instabilidade de instituições de pesquisa, de objetivos imediatistas que implicam na execução de uma grande quantidade de pesquisas, sem a necessária atenção para sua qualidade e eficácia, e de falta de recursos financeiros e de profissionais especializados no mercado de trabalho.

Desde há muito, a pesquisa científica é uma atividade coletiva que deve ser conduzida por equipes multidisciplinares, formadas por especialistas de diversas áreas. Para que possam ser eficazes no cumprimento de suas responsabilidades, essas equipes têm que ter o domínio do conhecimento de sua área de atuação. No que diz respeito à estatística, em particular, devem ter condições e capacidade para utilizar os métodos estatísticos mais modernos e apropriados para cada situação particular, incluindo o uso dos recursos exigidos para a implementação desses métodos, como os recursos de computação.

Os pesquisadores especialistas das diversas áreas de pesquisa devem ter domínio de conhecimento da metodologia da pesquisa científica que seja indispensável para a compreensão e a tomada de decisões e de ações referentes aos aspectos usuais do planejamento e da condução das pesquisas sob suas responsabilidades, e para a execução da análise, interpretação e difusão de seus resultados. Esse domínio de conhecimentos deve abranger os métodos estatísticos e os recursos de computação estatística, incluindo os "pacotes" para análise estatística.

Cabe aos especialistas em estatística a complementação do domínio de conhecimento das equipes de pesquisa, com o conhecimento dos métodos mais sofisticados que demandem capacitação especializada e que requeiram base teórica mais avançada em matemática e estatística. Também compete ao estatístico a capacitação para a execução de estudos e pesquisas visando a adaptação e o desenvolvimento de novos métodos e técnicas.

Exercícios 2.3

1. Explique e ilustre os três objetivos da pesquisa científica.
2. Qual é o propósito essencial de uma pesquisa explicativa?
3. Qual é a importância da pesquisa exploratória?
4. Explique como deve ser procedida a fase de análise do método científico para a identificação de problemas para originar um programa de pesquisa.
5. Caracterize os seguintes conceitos referentes à organização hierárquica da pesquisa em uma instituição de pesquisa: ação de pesquisa, projeto de pesquisa e programa de pesquisa.
6. Explique por que o trabalho de pesquisa usualmente requer a participação cooperativa de uma equipe multidisciplinar.
7. Liste e explique os aspectos importantes para a orientação apropriada da equipe de um projeto de pesquisa.
8. Explique que as razões do desperdício de recursos na pesquisa.
9. Explique a relação entre a estatística e o método científico.
10. O que significa e qual é a origem da atitude ritualista de muitos pesquisadores?
11. Explique porque o método estatístico não é capaz de prover a prova absoluta da verdade de um fato.

12. Explique a razão da necessidade do conhecimento do método científico, particularmente do método estatístico, por parte dos pesquisadores, mesmo integrando equipes multidisciplinares com atuação interdisciplinar.

Exercícios de Revisão

1. Qual é a relação entre pesquisa científica e método científico?
2. Conceitue e exemplifique pesquisa pura e pesquisa aplicada.
3. Liste as particularidades que caracterizam um sistema (unidade). Ilustre-as através de um exemplo de sistema de sua área.
4. Explique a importância da definição da população objetivo e das correspondentes unidades em uma pesquisa científica.
5. Distinga os conceitos de população amostrada e população objetivo.
6. Esclareça os significados dos conceitos de amostra, população amostrada e erro de amostragem.
7. Explique a importância das faculdades do homem de observação e raciocínio na derivação de conhecimento.
8. Qual é o significado de mensuração de uma característica?
9. Explique e ilustre com um exemplo porque muito freqüentemente uma característica pode ser expressa por mais de uma variável.
10. Quais são as diferenças fundamentais entre inferência dedutiva e inferência indutiva?
11. Porque a inferência dedutiva é inferência certa e inferência indutiva, inferência incerta?
12. Liste e explique resumidamente os estágios de uma pesquisa científica completa.
13. Explique e ilustre os significados de pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa explicativa.
14. Como o processo da pesquisa científica origina um problema científico, a correspondente hipótese científica e a decorrente pesquisa científica?
15. Qual é a razão da necessidade e importância da composição de equipes de pesquisa multidisciplinares e da atuação interdisciplinar dessas equipes nas atividades de pesquisa científica?
16. Explique porque a metodologia estatística é imprescindível no procedimento de inferência na pesquisa em ciências fatuais.
17. Porque o uso de métodos estatísticos pode conduzir a resultados ilusórios e enganadores?
18. Porque todo pesquisador deve ter domínio da metodologia científica, em particular dos métodos estatísticos, comumente aplicados em sua área?
19. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
 - a) O conhecimento de um fenômeno é adquirido através de duas faculdades do homem: e é a aplicação atenta dos sentidos a um fenômeno, para dele adquirir conhecimento claro e preciso. é a faculdade que busca o conhecimento pela elaboração de julgamentos referentes à realidade.
 - b) é o ente unitário de interesse em uma pesquisa científica; o conjunto de todos esses entes unitários é denominado
 - c) é uma propriedade das unidades de uma população objetivo; uma forma de sua manifestação é denominada
 - d) é um subconjunto das unidades da população objetivo escolhido, ou um conjunto de unidades construídas, para representar a população objetivo em uma pesquisa; o processo de sua obtenção é denominado
 - e) No processo de amostragem todas as unidades da população objetivo têm igual chance de constituir a amostra.
 - f) O processo de raciocínio que deriva uma ou mais proposições a partir de uma ou mais proposições prévias é denominado O processo de raciocínio que deriva proposições particulares a partir de proposições gerais é o processo de inferência A forma de raciocínio que deriva proposições gerais a partir de proposições particulares é

- g) Em geral, é recomendável que a consulta à literatura proceda do geral para o particular. As principais fontes de informação bibliográfica são: enciclopédias, guias de literatura, manuais, livros, revistas especializadas, resenhas e revisões, e revistas de resumos e indexação. apresentam o desenvolvimento ordenado e sistemático do conhecimento científico em uma área particular; provêm o material básico e muito freqüentemente são um bom início para a revisão da literatura; são as fontes mais gerais que podem ser úteis para uma primeira visão de uma área; são publicações indicativas, relatórios e guias destinados a uma área particular, que listam a literatura básica; são publicações, freqüentemente periódicas, de sociedades científicas, instituições de pesquisa e editoras comerciais que publicam artigos técnico-científicos; são publicações que apresentam o desenvolvimento ordenado e sistemático do conhecimento científico em uma área particular; são fontes de informação referentes a artigos correntes e publicações especializadas, e constituem a principal orientação para o pesquisador que busca artigos referentes a tópicos específicos.
20. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () Pesquisa científica é a atividade que, a partir de problemas ou questões relativamente limitadas, busca soluções ou explicações, usando a estratégia do método científico e técnicas e processos particulares.
 - 2 () A caracterização da unidade (sistema) para uma pesquisa decorre do objetivo da pesquisa.
 - 3 () A caracterização da unidade é usualmente uma questão simples em uma pesquisa científica.
 - 4 () A formulação do problema de pesquisa deve compreender a definição da população objetivo e das correspondentes unidades.
 - 5 () O tamanho de uma população é o número de unidades que a constituem.
 - 6 () Uma população objetivo é sempre uma população real, ou seja, uma população de unidades existentes no momento de execução da pesquisa.
 - 7 () Populações existentes na natureza são sempre finitas.
 - 8 () A amostragem é um processo indispensável em qualquer pesquisa científica.
 - 9 () Em uma pesquisa científica, as unidades que constituem a amostra são as mesmas constituintes da população objetivo.
 - 10 () Inferências da amostra para a população objetivo são necessariamente válidas, ou seja, não tendenciosas.
 - 11 () A amostra é necessariamente representativa da população amostrada.
 - 12 () Desvio entre a população amostrada e a população objetivo constitui o erro de amostragem.
 - 13 () Erros de amostragem são pouco comuns na pesquisa científica.
 - 14 () A observação de uma característica envolve exclusivamente a percepção sensorial através dos cinco sentidos.
 - 15 () Características são propriedades das unidades de uma população objetivo.
 - 16 () A observação de uma característica envolve exclusivamente a percepção sensorial, através dos cinco sentidos.
 - 17 () As características das unidades da amostra são essencialmente as mesmas das unidades da população objetivo.
 - 18 () O processo de mensuração de uma característica demanda sua representação através de uma variável.
 - 19 () A pesquisa em ciências fatuais envolve necessariamente processo de inferência indutiva.
 - 20 () A inferência indutiva em ciências fatuais é incerta.
 - 21 () A natureza sistemática da pesquisa científica estabelece uma seqüência completa de estágios principais que toda pesquisa deve cumprir.
 - 22 () Toda pesquisa científica deve compreender uma seqüência ordenada de etapas que deve ser rigorosamente obedecida.

- 23 () A pesquisa científica começa com a formulação de um problema, já que não tem sentido a busca de uma solução para problema ainda não definido.
- 24 () A escolha de um problema de pesquisa é uma tarefa fácil e rápida.
- 25 () Para cada problema científico pode ser formulada apenas uma hipótese científica.
- 26 () As formulações de um problema de pesquisa e da correspondente hipótese científica estabelecem, inequivocamente, o objetivo da pesquisa.
- 27 () É recomendável que a formulação de uma hipótese científica para um problema particular seja o mais ampla e complexa possível.
- 28 () A construção do plano de pesquisa pode anteceder a formulação do problema científico e da correspondente hipótese científica.
- 29 () A elaboração do plano da pesquisa pode anteceder a formulação do problema e da correspondente hipótese.
- 30 () Toda pesquisa científica deve compreender necessariamente a formulação de uma hipótese científica.
- 31 () Toda pesquisa deve compreender a seqüência completa dos passos de uma pesquisa científica.
- 32 () A natureza sistemática da pesquisa científica estabelece uma seqüência de estágios principais que toda pesquisa completa deve cumprir.
- 33 () Toda pesquisa tem como propósito o estabelecimento de relações causais entre características das unidades da correspondente população objetivo.
- 34 () Pesquisas exploratória e descritiva têm como propósito principal a identificação de problemas de pesquisa e de hipóteses relevantes.
- 35 () Pesquisa explicativa tem como propósito a derivação de inferências referentes a relações casuais entre características das unidades.
- 36 () Em uma pesquisa exploratória, o pesquisador não estabelece um problema nem formula uma hipótese; ele define objetivos que usualmente envolvem o registro de dados referentes a unidades de uma população objetivo com vistas à caracterização de problemas e hipóteses de pesquisa.
- 37 () A pesquisa científica é, muito freqüentemente, um empreendimento multidisciplinar.
- 38 () A atuação interdisciplinar de equipes de pesquisadores especialistas é freqüentemente indispensável na pesquisa científica em ciências fatuais.
- 39 () A utilização da metodologia estatística é uma opção em pesquisa científica em ciências fatuais.
- 40 () Modernamente, a pesquisa é um empreendimento de equipes multidisciplinares com atuação interdisciplinar; esse enfoque demanda o conhecimento de cada pesquisador apenas em sua disciplina específica.

Conceitos e Termos Chave

- Pesquisa científica
- Pesquisa aplicada ou tecnologia
- População objetivo
- População conceitual
- Nível de característica
- Amostragem
- População amostrada
- Observação
- Confiabilidade
- Mensuração de uma característica
- Nível de uma variável
- Inferência dedutiva
- Problema de pesquisa
- Pesquisa pura ou básica
- Unidade / sistema
- População real
- Característica
- Amostra
- Amostragem aleatória
- Erro de amostragem
- Raciocínio
- Validade
- Variável
- Inferência
- Inferência indutiva
- Problema descritivo

- Problema explicativo
- Pesquisa exploratória
- Pesquisa explicativa
- Hipótese de pesquisa
- Pesquisa descritiva
- Ação de pesquisa

Bibliografia

- BUNGE, M. **La investigación científica, su estrategia y su filosofía**. 4. ed. Barcelona: Editorial Ariel, 1975. 955p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- FISHER, R. A. The place of the design of experiments in the logic of scientific inference. Colloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, n.110, p.13-19, 1962.
- LASTRUCCI, C. L. **The scientific approach, basic principles of the scientific method**. Cambridge, Massachusetts: Schenkman Publishing Company, 1963. 257p.
- SILVA, J. G. C. da. O ensino da estatística no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária. In: ENCONTRO NACIONAL DE MÉTODOS QUANTITATIVOS, III, **Anais**. Brasília, 20-22 junho, 1995. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 1995. p.89-107.
- SILVA, J. G. C. da. Métodos quantitativos no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA): Um programa de capacitação e reciclagem de pesquisadores agrícolas. In: SILVA, E.C. (editor) **Métodos quantitativos e planejamento na EMBRAPA com enfoque na informação e na tecnologia da informação**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Departamento de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, 1995. p.69-87.
- SILVA, J. G. C. da. Método científico e pesquisa agropecuária. In: SILVA, E.C. (editor) **Métodos quantitativos - Planejamento e qualidade na EMBRAPA**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Departamento de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, 1997. p.1-46.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

3 Métodos de Pesquisa Científica

Conteúdo

3.1	Introdução.....	79
3.2	Métodos de Pesquisa Exploratória.....	79
	Estudo de casos	80
	Estudo de protótipos	81
	Modelagem matemática.....	81
3.3	Métodos de Pesquisa Descritiva	82
3.3.1	Amostragem probabilista.....	84
	Amostragem aleatória simples	84
	Amostragem aleatória estratificada	85
	Amostragem aleatória por conglomerados.....	87
	Amostragem aleatória estratificada e por conglomerados.....	88
	Amostragem aleatória em estágios	89
	Amostragem aleatória sistemática	89
	Amostragem aleatória múltipla.....	90
3.3.2	Amostragem não probabilista	91
	Amostragem de julgamento	91
	Amostragem de conveniência	92
	Amostragem por quota.....	93
	Amostragem não aleatória sistemática.....	93
	Amostragem a esmo	94
	Amostragem mecânica.....	94
3.4	Pesquisa Explicativa	96
3.4.1	Relações de características.....	96
3.4.2	Controle da amostra	102
	Controle de técnicas de pesquisa	103
	Controle local ou emparelhamento.....	105
	Controle estatístico	106
	Casualização	106
	Classificação das características estranhas implicada pelo controle da amostra	107
3.5	Métodos de Pesquisa Explicativa.....	110
3.5.1	Experimento	110
3.5.2	Levantamento por amostragem explicativo.....	111
3.5.3	Estudo observacional	111
	Estudo observacional prospectivo.....	112

	Estudo observacional retrospectivo.....	112
	Estudo observacional não controlado.....	113
3.5.4	Escolha do método de pesquisa explicativa	114
3.6	Utilização dos Métodos de Pesquisa Científica.....	117
	Exercícios de Revisão	121
	Conceitos e Termos Chave.....	126
	Bibliografia.....	127

3.1 Introdução

Neste Capítulo é completado o embasamento conceitual referente ao método científico e à pesquisa científica relevante para a caracterização da importância e do papel da pesquisa experimental. Na **Seção 2.5** foram caracterizados os três objetivos da pesquisa científica, ou seja, exploratório, descritivo e explicativo. Esses objetivos não são mutuamente exclusivos. Em algumas situações uma pesquisa científica particular pode ter mais de um desses três desses objetivos. Qualquer que seja o objetivo da pesquisa, ela tem que ser implementada através de um método de pesquisa. A função do método de pesquisa é a organização dos procedimentos de pesquisa com os propósitos de minimizar o erro, economizar esforços e prover a coleta eficiente da evidência relevante aos propósitos da pesquisa.

A literatura apresenta uma ampla gama de métodos de pesquisa, com diferenças de procedimentos e de designações que variam com a área da ciência. Neste Capítulo são considerados os métodos de pesquisa mais usuais em biologia e particularmente na pesquisa agropecuária. Cada um desses métodos, por suas características, é mais apropriado para um dos três objetivos. Entretanto, em geral, eles são utilizáveis para mais de um objetivo de pesquisa. De fato, o uso de qualquer desses métodos por si não determina se os dados derivados serão exploratórios, descritivos ou explicativos; apenas o emprego desses dados pode determinar seu caráter.

Nas próximas Seções os métodos de pesquisa são apresentados e ilustrados com relação aos objetivos para os quais eles são mais especificamente apropriados. Assim, a **Seção 3.2** apresenta os métodos de pesquisa exploratória. A **Seção 3.3** trata dos métodos de pesquisa descritiva, usualmente denominados levantamentos. A **Seção 3.4** constitui uma introdução aos métodos de pesquisa explicativa. Esta Seção aborda dois temas específicos da pesquisa explicativa: relações de características (**Seção 3.4.1**) e controle da amostra (**Seção 3.4.2**). Na **Seção 3.5** faz-se a caracterização dos três métodos de pesquisa explicativa: experimento, estudo observacional e levantamento por amostragem explicativo, focalizando atenção, principalmente, nas distinções entre esses métodos que têm implicações relevantes para inferências referentes a relações causais de características. Na **Seção 3.6** discute-se a utilização dos métodos de pesquisa na pesquisa científica, para caracterizar que métodos de pesquisa exploratória, descritiva e explicativa devem ser utilizados estrategicamente nas fases de síntese inicial, análise e síntese final de cada ciclo de aplicação do método científico para a geração de conhecimento.

3.2 Métodos de Pesquisa Exploratória

Métodos de pesquisa exploratória têm algumas características dos métodos de pesquisa descritiva e explicativa. Entretanto, se caracterizam por maior flexibilidade e versatilidade. Esses métodos são apropriados quando o pesquisador está envolvido em pesquisa em uma área ou tema em que ele não tem conhecimento suficiente para formular problemas específicos para pesquisa e, conseqüentemente, também ainda não desenvolveu hipóteses para pesquisa. Ele está buscando informações que lhe permitam estabelecer problemas de pesquisa e formular hipóteses referentes a esses problemas.

Por essa razão, métodos de pesquisa exploratória são menos estruturados do que métodos de pesquisa descritiva e métodos de pesquisa explicativa, e não provêm a base para generalização proporcionada por alguns métodos de pesquisa descritiva nem a base para inferências referentes a relações causais que caracteriza os métodos de pesquisa explicativa.

Os métodos de pesquisa exploratória mais usuais são:

- estudo de casos,
- estudo de protótipos,
- modelagem matemática.

Estudo de casos

No método de **estudo de casos**, o pesquisador escolhe um subconjunto de poucas unidades (**casos**) da população objetivo com as características relevantes para o propósito da pesquisa, e efetua a descrição de um subconjunto numeroso de características dessas unidades, segundo um plano preestabelecido.

O método de estudo de casos é apropriado para a descrição intensiva de uma ou poucas unidades, com base em observações diretas e entrevistas. Um caso pode ser um indivíduo, grupo, comunidade, organização ou processo. Os casos podem ser unidades típicas que caracterizem a diversidade de uma população objetivo, ou unidades de algum interesse particular. São registradas informações referentes a todas as características relevantes para a identificação e descrição pormenorizada dessas unidades.

Esse método de pesquisa originou-se na área de ciências sociais, mas também passou a ser utilizado em outras áreas de pesquisa, como saúde pública, indústria e agropecuária.

O estudo de casos é um método de pesquisa muito útil para prover idéias, identificar problemas e sugerir hipóteses que possam ser verificadas através de pesquisa explicativa. Por essa razão, ele é muito útil na fase de síntese inicial de um ciclo da aplicação do método científico na pesquisa. Suas grandes desvantagens são não propiciar a identificação da causa de um efeito específico com grau de confiabilidade aceitável e não prover base de inferência para generalização para outras unidades da população objetivo.

O estudo de casos também é muito útil para a descrição de eventos raros e para provisão de contra-exemplo de algum princípio aceito universalmente.

O estudo de casos pode seguir uma pesquisa descritiva, ou seja, um levantamento. Em algumas pesquisas é inicialmente efetuado um levantamento por amostragem para identificação de agrupamentos típicos das unidades da população objetivo. Após essa fase de tipificação, segue-se um estudo de casos com uma ou poucas unidades de cada um desses agrupamentos.

Exemplo 3.1

Uma unidade de pesquisa agrícola que deseja tomar conhecimento com profundidade dos sistemas de produção em uso em uma região efetua um levantamento para identificação dos sistemas usuais típicos e, então, escolhe uma unidade de cada desses grupos e a acompanha por um certo intervalo de tempo, registrando dados de um grande número de características dessas unidades. Este é um exemplo de um levantamento de tipificação seguido de um estudo de casos; cada um dos sistemas ou unidades típicas escolhidas na primeira fase da pesquisa é um "caso" para o estudo de casos da segunda fase.

O método de estudos de casos tem semelhanças com o levantamento por amostragem não aleatória (**Seção 3.3.2**) e com o estudo observacional (**Seção 3.5**). Distingue-se desses métodos de pesquisa por compreender um número reduzido de unidades, considerar um número elevado de características e focar a unidade globalmente em vez de suas partes.

Estudo de protótipos

O método de **estudo de protótipos** consiste em montar uma ou poucas unidades com um conjunto de características escolhidas, e efetuar a observação e mensuração de características relevantes dessas unidades, segundo um plano preestabelecido. As unidades sob as quais é conduzida a pesquisa são denominadas de **protótipos**.

O método de estudo de protótipos surgiu na pesquisa industrial. O objetivo de um estudo de protótipos é principalmente a detecção de problemas. Na indústria, os protótipos são modelos físicos de máquinas ou equipamentos que resultam do agregado de componentes desenvolvidos e produzidos independentemente, algumas vezes oriundos de vários fornecedores especializados. O estudo de protótipos visa principalmente a avaliação do desempenho desses modelos, antes da fabricação em larga escala e comercialização.

Diferentemente do estudo de casos, no qual as unidades existem antes da chegada do pesquisador, no estudo de protótipos as unidades são montadas especialmente para a pesquisa.

O estudo de protótipos é um método de pesquisa exploratória muito útil na pesquisa científica, principalmente para prover a síntese de resultados de pesquisa analítica explicativa através de sua integração em sistemas reais, e prover a identificação de problemas e hipóteses que possam ser verificadas através de pesquisa explicativa.

Exemplo 3.2

Uma unidade de pesquisa de suínos monta, em sua sede, uma unidade ou sistema de produção de suínos criados em confinamento, incorporando as tecnologias geradas pela pesquisa, com o propósito de observar os resultados das interações dessas tecnologias quando integradas ao sistema global, e o desempenho do novo sistema. Nessas circunstâncias, essa unidade constitui um laboratório para experiência e observação para a identificação de problemas e geração de sugestões de hipóteses que poderão ser verificadas por pesquisas explicativas.

O estudo de protótipos tem alguma semelhança com o experimento (**Seção 3.5.1**) no que diz respeito ao controle da amostra. De fato, pode-se considerar o estudo de protótipos como um "experimento com a unidade global". Entretanto, ele não tem as propriedades analíticas explicativas do experimento para inferências referentes a relações causais.

Modelagem matemática

Esse método de pesquisa exploratória também se originou na pesquisa industrial, a partir do advento da computação eletrônica. Ele se distingue dos demais métodos de pesquisa por ser um método conceitual ou formal, ou seja, as unidades ou sistemas não são reais ou empíricos, mas abstratos ou conceituais.

O método de **modelagem matemática** consiste em representar um conjunto de unidades (sistemas) reais através de um modelo conceitual, isto é, um **modelo matemático**, ou **modelo de simulação**, que exprima as relações entre as características relevantes das unidades. O modelo é, então, submetido à validação por meio de experimentação numérica, com o auxílio de computador eletrônico, e comparação dos resultados dessa experimentação com observações empíricas, obtidas de experimentos, estudos de casos, estudos de protótipos, etc.

O modelo matemático é montado com base em informações providas por outras pesquisas – levantamentos, estudos de casos, experimentos, etc., e mesmo por fontes informais, incluindo opiniões.

O método de modelagem matemática envolve a identificação de relações entre as características relevantes das unidades de interesse, a representação matemática dessas relações, a construção de um modelo global para representar (simular) o funcionamento dessas unidades e suas alterações no tempo, e o uso desse modelo para derivar conhecimento novo sobre interações dinâmicas entre componentes e elementos dessas unidades.

Esse método de pesquisa exploratória, assim como os métodos de estudo de casos e de estudo de protótipos, enfoca o sistema globalmente. Por essa característica, esses métodos de pesquisa são particularmente úteis para identificar interações entre componentes de sistemas não detectáveis por pesquisa explicativa. Também são muito úteis para outros propósitos relacionados com a pesquisa científica, tais como: identificação de problemas de pesquisa, seleção de prioridades de pesquisa e derivação de extrapolação de resultados de pesquisas explicativas.

Exemplo 3.3

Uma unidade de pesquisa de ovinos pode montar um modelo de sistemas de produção de cordeiro mamão, ou de parte desses sistemas, com as características e relações de características essenciais. Um modelo inicial pode ser construído com base em práticas usuais dos produtores, resultados de pesquisas e opiniões de produtores, extensionistas e pesquisadores. Esse modelo pode ser aperfeiçoado progressivamente com a incorporação de novas características e relações de características, e reformulações de relações de características, com base em novas tecnologias que são geradas pela pesquisa. Sua adequação pode ser verificada periodicamente, através da comparação dos resultados que ele propicia com resultados de sistemas reais da população objetivo (unidades de produção da região).

Um modelo de simulação nessas circunstâncias possibilita a verificação do comportamento de novas tecnologias geradas pela pesquisa quando integradas nos sistemas globais e a identificação de interações relevantes e de subsistemas e características críticas que demandam pesquisas. Pode ser muito útil para a indicação de problemas e sugestão de hipóteses, e para a indicação de prioridades de pesquisa.

A modelagem matemática pode funcionar como um catalisador para a atividade cooperativa de pesquisadores das diversas disciplinas que possam contribuir para a melhoria do desempenho das unidades de interesse. Assim, ele pode constituir o núcleo de um método de trabalho interdisciplinar de uma equipe multidisciplinar de pesquisa. Por outro lado, o sucesso de seu uso demanda interesse, solidariedade e atitude de cooperação por parte dos pesquisadores, e liderança de pesquisa e suporte institucional que propiciem essas condições. Também requer a participação de especialistas em modelagem matemática, com conhecimento sólido das técnicas matemáticas, estatísticas e computacionais envolvidas.

3.3 Métodos de Pesquisa Descritiva

Métodos de pesquisa descritiva, também denominados **levantamentos**, são próprios para pesquisa descritiva, ou seja, pesquisa com propósito de prover a descrição do comportamento das unidades de uma população objetivo, através da identificação e descrição das características relevantes dessas unidades e das relações entre essas características.

Em nível elementar, a pesquisa descritiva detém-se apenas na mensuração de características e determinação de suas propriedades importantes, como médias e variâncias, ou distribuições de frequências. Em nível mais avançado, pode visar não apenas a descrição de características, mas, também, a identificação e descrição de relações de associação ou correlação de características, ou seja, relações de características que variam conjuntamente.

Por envolver, muito freqüentemente, a avaliação de relações de associação de características, métodos de pesquisa descritiva são algumas vezes denominados “métodos correlacionais”. Entretanto, a pesquisa descritiva não tem propósito de derivar inferências sobre relações causais, ou seja, relações de causa e efeito entre características.

Em contraste com a flexibilidade da pesquisa exploratória, a pesquisa descritiva requer as definições claras dos objetivos da pesquisa e da população objetivo, a especificação das questões que visa responder e o planejamento cuidadoso com respeito às unidades que constituirão as fontes de informação e aos procedimentos para a coleta de informação.

Em uma pesquisa descritiva as características das unidades se manifestam sem interferência do pesquisador. O pesquisador limita-se à mensuração e registro das informações segundo o plano pré-estabelecido, muito freqüentemente por meio de um questionário.

Uma pesquisa descritiva pode ser conduzida sobre todas as unidades da população objetivo ou sobre uma fração dessa população, ou seja, sobre uma amostra da população objetivo (**Seção 2.2**).

Se a pesquisa envolve a observação de todas as unidades da população objetivo, o método de pesquisa é denominado **censo**. Se é conduzida sobre uma amostra da população objetivo, o método de pesquisa é denominado **levantamento por amostragem**.

O censo somente é aplicável em situações em que a população objetivo é finita e suas unidades são identificáveis e disponíveis para coleta de informação. Mesmo nessas circunstâncias, por razões econômicas, éticas ou de outra origem, o levantamento por amostragem pode ser mais conveniente e apropriado. Por essa razão, o levantamento por amostragem é muito mais freqüentemente utilizado.

O processo de amostragem determina o **delineamento de amostragem**, ou seja, a relação estrutural entre a amostra e a população objetivo e as chances de seleção das unidades da população objetivo. Há uma grande variedade de delineamentos de amostragem. A distinção mais importante entre esses delineamentos refere-se ao modo de seleção da amostra que pode ser objetivo e ter base probabilista, ou subjetivo e não probabilista.

Se o processo de amostragem é objetivo e estabelece uma probabilidade conhecida de cada unidade da população objetivo ser incluída na amostra, ele é denominado **amostragem probabilista** ou **amostragem aleatória**; caso contrário, é denominado **amostragem não probabilista** ou **amostragem não aleatória**.

Uma população objetivo pode ser uma população real ou conceitual (**Seção 2.2**). Populações reais são finitas, ou seja, têm um número determinado de unidades que, em muitas situações, podem ser identificadas e listadas. Processos de amostragem para essas populações podem ser objetivos e probabilistas, ou subjetivos e não probabilistas. Populações conceituais são de tamanho desconhecido; são freqüentemente muito grandes e nessas circunstâncias, por conveniência, são usualmente consideradas infinitas nos procedimentos de inferência estatística. Por essa razão, processos de amostragem para populações conceituais são necessariamente subjetivos e não probabilistas. Os delineamentos de amostragem mais simples e mais comumente utilizados são considerados a seguir.

3.3.1 Amostragem probabilista

A amostragem probabilista tem as seguintes propriedades:

- a) cada unidade da população objetivo tem uma probabilidade conhecida de ser selecionada para a amostra;
- b) a amostra é extraída por algum método de seleção consistente com essas probabilidades;
- c) podem ser derivadas inferências objetivas para a população objetivo por procedimentos estatísticos que levem em conta essas probabilidades de seleção.

Delineamentos de amostragem probabilista também são convenientes por possibilitarem a determinação do erro de amostragem, ou seja, do grau em que a população amostrada difere da população objetivo. Essa informação permite a avaliação objetiva da representatividade da amostra. Delineamentos de amostragem não probabilista não possibilitam essa avaliação.

Os delineamentos de amostragem probabilista mais usuais são os seguintes:

- amostragem aleatória simples,
- amostragem aleatória estratificada,
- amostragem aleatória por conglomerados,
- amostragem aleatória estratificada por conglomerados,
- amostragem aleatória em estágios,
- amostragem aleatória sistemática e
- amostragem aleatória múltipla.

Amostragem aleatória simples

O processo de amostragem aleatória simples é a forma mais pura de amostragem aleatória: as unidades da amostra são escolhidas aleatoriamente da população objetivo sem qualquer restrição.

Um **delineamento de amostragem aleatória simples** consiste em selecionar as unidades da população objetivo de modo irrestrito e tal que todas as unidades tenham probabilidade igual de constituir a amostra.

Equivalentemente, um **delineamento de amostragem aleatória simples** de tamanho n consiste em selecionar a amostra com a propriedade de que todos os subconjuntos de n unidades da população objetivo tenham a mesma probabilidade de seleção.

O princípio do processo de amostragem aleatória simples é ilustrado pelo **Exemplo 3.4**.

Exemplo 3.4

Suponha-se que uma população objetivo compreende 6 unidades identificadas pelas letras a, b, c, d, e, f e que deva ser selecionada uma amostra aleatória simples de tamanho $n=3$. Há $C_6^3 = 20$ amostras (diferentes) possíveis de tamanho 3, ou seja: abc, abd, abe, abf, acd, ace, acf, ade, adf, aef, bcd, bce, bcf, bde, bdf, bef, cde, cdf, cef e def. Então, pode-se obter uma amostra aleatória simples de tamanho 3 dessa população identificando essas 20 amostras com os números inteiros de 1 a 20 e, a seguir, selecionado um desses números de tal modo que qualquer um deles tenha a mesma chance de ser selecionado.

Alternativamente, pode-se obter uma amostra aleatória simples de tamanho 3 dessa população de 6 unidades, extraindo aleatoriamente uma das seis letras a, b, c, d, e, f, então extraindo aleatoriamente uma das 5 letras restantes, e, então, extraindo aleatoriamente uma das 4 letras restantes.

O **Exemplo 3.5** provê ilustrações particulares do uso de amostragem aleatória simples.

Exemplo 3.5

a) Levantamento de sugestões dos alunos de um curso para colher subsídios para a programação de próximas ofertas desse curso em que a amostra é constituída por um subconjunto de alunos sorteados da lista das matrículas no corrente curso;

b) levantamento da incidência de doenças nos animais de um rebanho de gado de corte de uma fazenda em que a amostra é constituída de um grupo de animais selecionados aleatoriamente do cadastro dos animais desse rebanho;

c) levantamento para caracterização da qualidade de um lote de liquidificadores recebido de um fabricante por uma rede de lojas de eletrodomésticos em que são sorteadas algumas unidades desse lote para teste;

d) levantamento da opinião dos associados de uma cooperativa de produtores de trigo para identificar os problemas mais relevantes para pesquisa cuja amostra é constituída por agricultores escolhidos aleatoriamente do cadastro dos associados dessa cooperativa.

A amostragem aleatória simples é particularmente apropriada para população objetivo relativamente homogênea e não muito grande. Como requer a identificação e listagem de todas as unidades da população objetivo, ela pode tornar-se trabalhosa ou impraticável para populações grandes. Ela também é inconveniente quando a população objetivo compreende subpopulações ou grupos de unidades entre os quais características relevantes para os propósitos da pesquisa variam acentuadamente. Nessas circunstâncias, a escolha aleatória da amostra sem restrição pode resultar em falha de representação da variação entre esses grupos.

Amostragem aleatória estratificada

Um processo de amostragem apropriado para constituir uma amostra representativa de uma população objetivo que compreende grupos de unidades consideravelmente heterogêneos pode ser a escolha aleatória e independente de um subconjunto de unidades de cada um desses grupos, que são denominados **estratos**:

Um **delineamento de amostragem aleatória estratificada** de tamanho n consiste em classificar as unidades da população objetivo em k grupos (estratos) e, então, selecionar uma amostra aleatória simples de tamanho n_i do i -ésimo estrato, de modo que $n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$.

O princípio do processo de amostragem aleatória estratificada é ilustrado pelo **Exemplo 3.6**.

Exemplo 3.6

Considere-se uma população de 9 unidades classificadas em dois estratos 1 e 2 constituídos de 3 e 6 unidades, respectivamente. Essas 9 unidades podem ser representadas pelas 9 primeiras letras do alfabeto e as unidades dos dois estratos respectivamente pelas vogais e consoantes entre essas 9 letras, como segue:

Estrato 1: a, e, i;

Estrato 2: b, c, d, f, g, h.

Suponha-se que se toma uma amostra aleatória simples de uma unidade de cada um desses dois estratos. Então, pode resultar uma das seguintes 18 amostras aleatórias estratificadas identificadas nas colunas da **Figura 3.1**.

Amostra:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Estrato 1:	a	a	a	a	a	a	e	e	e	e	e	e	i	i	i	i	i	i
Estrato 2:	b	c	d	f	g	h	b	c	d	f	g	h	b	c	d	f	g	h

Figura 3.1. Dezoito amostras aleatórias estratificadas possíveis de uma unidade de cada um de dois estratos 1 e 2 cujas unidades são representadas pelas vogais e consoantes tomadas das primeiras 9 letras do alfabeto.

Os números de unidades selecionadas dos estratos da população objetivo podem ser iguais ou diferentes.

Se o processo de amostragem aleatória estratificada seleciona o mesmo número de unidades de cada um dos estratos da população objetivo, ele é denominado **de igual alocação**. Se os números de unidades selecionados dos estratos são proporcionais aos tamanhos dos estratos, então o processo de amostragem é denominado **de alocação proporcional**.

A situação de igual alocação é ilustrada pelo **Exemplo 3.6**; uma ilustração de alocação proporcional é provida pelo **Exemplo 3.7**.

Exemplo 3.7

Considere-se a seleção de uma amostra aleatória estratificada de tamanho 3 da população considerada no **Exemplo 3.6** com alocação proporcional. Como o estrato 2 tem o dobro do tamanho do estrato 1, para constituir uma amostra estratificada de alocação proporcional o número de unidades selecionadas do estrato 2 deve ser o dobro do número das unidades selecionadas do estrato 1. Assim, as 45 possíveis amostras aleatórias estratificadas de tamanho 3 com alocação proporcional são as indicadas nas colunas da **Figura 3.2**.

Amostra:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	43	44	45
Estrato 1:	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	e	e		i	i	i
Estrato 2:	b	b	b	b	b	c	c	c	c	d	d	d	f	f	g	b	b		f	f	g
	c	d	f	g	h	d	f	g	h	f	g	h	g	h	h	c	d		g	h	h

Figura 3.2. Quarenta e cinco possíveis amostras aleatórias estratificadas de tamanho 3 com alocação proporcional de uma população de dois estratos 1 e 2 constituídos de 3 e 6 unidades, respectivamente.

Em um delineamento de amostragem aleatória estratificada o erro de amostragem provém da variação entre unidades dentro de estratos; não é afetado pela heterogeneidade dos estratos. Assim, quando a variação de características relevantes para os objetivos da pesquisa é consideravelmente mais elevada entre os estratos do que entre as unidades dentro dos estratos, a amostragem aleatória estratificada conduz a erro de amostragem menor e inferências estatísticas mais precisas do que a amostragem aleatória simples. Essas vantagens são mais salientes quando os tamanhos dos estratos são acentuadamente diferentes.

A amostragem aleatória estratificada também pode ser conveniente quando são desejáveis informações referentes aos estratos individuais e quando a coleta de informações separadamente para cada estrato é mais fácil por razões físicas ou administrativas.

Os seguintes exemplos ilustram características que podem ser apropriadas para a formação de estratos: a) tamanho da propriedade em um levantamento de sistemas de produção de feijão; b) bairro em um levantamento da situação sócio-econômica das famílias de uma cidade; e c) porte do supermercado em um levantamento referente a comercialização de produtos através de supermercados.

O **Exemplo 3.8** apresenta ilustrações específicas de amostragem aleatória estratificada.

Exemplo 3.8

a) Levantamento para avaliação da qualidade do ensino de uma universidade em que são escolhidos para opinar alunos selecionados aleatoriamente da lista das matrículas de cada um dos cursos no corrente semestre letivo;

b) levantamento da incidência de doenças nos animais de um rebanho de gado de corte de uma fazenda cuja amostra é constituída de um grupo de animais selecionados aleatoriamente do cadastro dos animais de cada uma das três raças desse rebanho;

c) levantamento para caracterização da qualidade das lâmpadas recebidas por uma rede de lojas de aparelhos elétricos de vários fabricantes em que são sorteadas para teste algumas lâmpadas de cada um dos fabricantes;

d) levantamento da opinião dos associados de uma cooperativa de produtores de trigo para identificar os problemas mais relevantes para pesquisa cuja amostra é constituída por agricultores escolhidos aleatoriamente do cadastro dos associados dessa cooperativa de cada um de três tamanhos de propriedade.

A amostragem aleatória estratificada, assim como a amostragem aleatória simples, requer a identificação e listagem de todas as unidades da população objetivo. Quando o tamanho da população objetivo é muito grande, a preparação dessa lista pode ser demasiadamente trabalhosa ou impraticável. Outros inconvenientes do uso desses processos de amostragem nessas circunstâncias são os custos elevados e as dificuldades administrativas decorrentes da coleta de informações de unidades dispersas.

Amostragem aleatória por conglomerados

Quando o tamanho da população objetivo é muito grande, o levantamento por amostragem aleatória pode tornar-se mais fácil e conveniente quanto à preparação, custo e administração quando as unidades constituem grupos naturais relativamente homogêneos. Nessas circunstâncias, um processo de amostragem apropriado para constituir uma amostra representativa pode compreender a seleção aleatória de um subconjunto desses grupos, usualmente designados de **conglomerados**, em vez de um subconjunto de unidades individuais:

Um **delineamento de amostragem aleatória por conglomerados** consiste em classificar as unidades da população objetivo em grupos (conglomerados) e, então, extrair uma amostra aleatória simples dos conglomerados.

A amostra pode ser constituída de todas as unidades dos conglomerados selecionados ou de uma amostra aleatória simples de cada um desses conglomerados. Nesse último caso, pode ser adotada alocação igual ou alocação proporcional aos tamanhos dos conglomerados. A alocação proporcional é mais freqüentemente utilizada.

Muito freqüentemente, os conglomerados compreendem unidades geograficamente próximas e são áreas correspondentes a divisões de uma região que constitui a população objetivo. Nessas circunstâncias, o delineamento é usualmente designado de **amostragem aleatória por área**.

Exemplos de características que podem ser apropriadas para a formação de conglomerados são: a) fazenda em um levantamento da incidência de doenças nos

animais de uma região em que a unidade é um animal; b) distrito em um levantamento de tecnologias adotadas pelos agricultores de uma região em que a propriedade agrícola é a unidade; e c) família em um levantamento da situação sócio-econômica dos habitantes de um bairro de uma cidade em que a unidade é o indivíduo.

Uma ilustração de amostragem aleatória por conglomerados é provida pelo **Exemplo 3.9**.

Exemplo 3.9

Em um levantamento do consumo em uma cidade em que a unidade da amostra é a família definida como o conjunto das pessoas que habitam uma mesma residência, identificam-se os quarteirões em um mapa da cidade e escolhe-se aleatoriamente um dado número de quarteirões para a coleta de observações. A seguir, seleciona-se um subconjunto das residências de cada um dos quarteirões escolhidos, por amostragem aleatória simples com alocação proporcional (aos números de residências desses quarteirões).

Este processo de amostragem aleatória requer apenas a identificação dos conglomerados e a listagem das unidades dos conglomerados selecionados para a amostra. Por essa razão, ele é conveniente para populações objetivos consideravelmente grandes, principalmente quando não é disponível uma lista completa das unidades e obtê-la implicaria muito trabalho e custo elevado.

Quando a variação de características relevantes é menor entre os conglomerados do que entre as unidades dentro de conglomerados, a amostragem aleatória por conglomerados produz menor erro de amostragem e inferências estatísticas mais precisas do que a amostragem aleatória simples. Assim, no planejamento de um levantamento por amostragem aleatória por conglomerados deve-se buscar maior homogeneidade entre os conglomerados do que entre as unidades dentro dos conglomerados. Isso é o contrário do que se deve buscar com o processo de amostragem aleatória estratificada, onde é conveniente maior homogeneidade dentro dos estratos do que entre os estratos.

Como usualmente unidades de um mesmo conglomerado tendem a serem mais semelhantes do que unidades de diferentes conglomerados, muito freqüentemente a amostragem aleatória por conglomerados produz erro de amostragem mais elevado e conseqüentemente inferências menos precisas do que a amostragem aleatória simples do mesmo tamanho. Essa fraqueza pode ser reduzida pelo incremento do tamanho da amostra, o que pode ser obtido com trabalho e custo relativamente pequenos, já que comumente unidades de mesmo conglomerado são próximas.

Amostragem aleatória estratificada e por conglomerados

Em algumas situações pode ser conveniente um delineamento misto de amostragem aleatória estratificada e amostragem aleatória por conglomerados:

Em um **delineamento de amostragem aleatória estratificada e por conglomerados** a população objetivo é dividida em grupos (estratos); cada um desses grupos é subdividido em subgrupos (conglomerados); de cada um dos extratos é extraída uma amostra aleatória simples de conglomerados; então, de cada conglomerado (de cada estrato) é selecionado aleatoriamente um subconjunto de unidades por algum critério apropriado.

Exemplo 3.10

Os dois levantamentos caracterizados a seguir ilustram delineamento de amostragem aleatória estratificada e por conglomerados:

a) Levantamento por amostragem de famílias considerado no **Exemplo 3.9** procedido com o seguinte delineamento alternativo: a cidade é dividida em zonas (estratos; por exemplo, uma ou mais zonas centrais e os bairros); b) são identificados os quarteirões (conglomerados) de cada uma dessas zonas; c) é extraída uma amostra aleatória simples dos conglomerados de cada uma das zonas; e d) é efetuada a seleção aleatória de um subconjunto de residências de cada quarteirão selecionado de cada zona da cidade.

b) Levantamento de opiniões de tricultores da região tritícola do planalto do Rio Grande do Sul em que essa região é dividida em municípios (estratos) e cada município em áreas de cinco propriedades cada uma (conglomerados); então, é selecionada uma amostra aleatória simples de áreas dentro de cada município com o número de áreas selecionadas proporcional ao número de áreas do município.

Amostragem aleatória em estágios

O delineamento de amostragem aleatória estratificada e por conglomerados é um delineamento de amostragem em dois estágios: o primeiro estágio consiste na amostragem aleatória simples dos conglomerados dentro de cada estrato; o segundo estágio, na amostragem aleatória das unidades de cada conglomerado selecionado no primeiro estágio. Essa idéia de amostragem em estágios pode ser convenientemente estendida para situações de populações muito grandes e complexas.

Exemplo 3.11

Considere-se uma pesquisa nacional de residências; por exemplo, uma pesquisa referente a emprego e desemprego. Não seria prático obter e manter uma lista das residências do País. Além disso, a coleta de dados através de entrevistas em domicílios muito dispersos teria um custo exorbitante. Para essas circunstâncias, é interessante um delineamento de amostragem em estágios, como o delineamento nos três estágios que seguem: 1 – extração de uma amostra aleatória dos municípios de cada Estado do País; 2 – seleção de uma amostra aleatória dos quarteirões de cada um dos municípios escolhidos; e 3 – seleção de uma amostra aleatória das residências de cada um dos quarteirões.

Amostragem aleatória sistemática

A amostragem aleatória sistemática é um processo de amostragem probabilista utilizado com alguma frequência quando é possível listar ou ordenar todas as unidades da população objetivo.

Um **delineamento de amostragem aleatória sistemática** de tamanho n de uma população de tamanho N consiste em escolher aleatoriamente uma unidade do subconjunto das primeiras $k = [N/n]$ unidades, seja a c -ésima unidade, e , então, tomar cada uma das k -ésimas unidades a partir desta, de modo que a amostra resulta constituída pelas unidades da população objetivo de ordens $c, c+k, c+2k, \dots$ ($[r]$ denota o maior número inteiro que não supera o número racional r .)

Neste delineamento a escolha aleatória da primeira unidade da amostra determina toda a amostra. Em particular, para selecionar uma amostra aleatória de $p\%$ (p inteiro positivo) das N unidades de uma população objetivo, escolhe-se aleatoriamente um número do conjunto dos números inteiros $\{1, 2, \dots, p\}$, seja c , e , então, toma-se cada uma das p -ésimas unidades a partir de c , ou seja, as unidades $c, c+p, c+2p$, e assim sucessivamente.

Exemplo 3.12

Suponha-se a extração de uma amostra de 10% da lista dos 620 associados de uma cooperativa de produtores de leite. Para tal, seleciona-se aleatoriamente um número do conjunto dos 10 primeiros números inteiros $\{1, 2, \dots, 10\}$, seja 6 , e , então, tomam-se os produtores identificados na lista com os números $6, 16, 26$, e assim sucessivamente, até o 616.

A amostragem aleatória sistemática reduz consideravelmente o número de subconjuntos de unidades da população objetivo que pode ser escolhido para constituir a amostra. Essa é uma propriedade essencial que distingue esse processo de amostragem da amostragem aleatória simples. Entretanto, a amostragem sistemática assegura que todas as unidades da população objetivo têm chance de constituir a amostra.

Esse delineamento tem duas vantagens em relação ao delineamento de amostragem aleatória simples: é mais fácil de planejar, já que é requerido apenas um número aleatório, e distribui a amostra mais uniformemente sobre a população objetivo. Por essa segunda razão, o delineamento de amostragem aleatória sistemática algumas vezes conduz a erro de amostragem menor e inferências mais precisas do que o delineamento de amostragem aleatória simples. Entretanto, ele tem desvantagens. Uma desvantagem importante é que, se há alguma ordenação escondida das unidades da população objetivo segundo os níveis de alguma característica relevante, pode resultar uma amostra severamente tendenciosa. Assim, por exemplo, uma amostra sistemática das casas de uma cidade pode conter um número demasiadamente grande, ou demasiadamente pequeno, de casas de esquina; uma amostra sistemática das plantas de um pomar pode ter as plantas selecionadas das mesmas posições ao longo de cada uma das filas do pomar. Para evitar o uso inconveniente do delineamento de amostragem sistemática é importante conhecer a natureza da variabilidade na população objetivo antes de decidir pela sua escolha.

Amostragem aleatória múltipla

Em algumas circunstâncias pode ser conveniente proceder à seleção das unidades para a amostra por etapas.

Em um **delineamento de amostragem múltipla** a amostra é constituída por unidades que são selecionadas da população objetivo em etapas sucessivas. Dependendo dos resultados observados em cada etapa, podem ser dispensadas etapas subseqüentes.

Esse processo de amostragem é freqüentemente empregado em inspeção por amostragem para teste ou controle de qualidade de produtos. O **Exemplo 3.13** provê uma ilustração.

Exemplo 3.13

Para ilustração considere-se o seguinte processo de amostragem dupla para decisão referente à aceitação ou rejeição de um lote de um produto industrial: Escolhe-se uma amostra aleatória das unidades do lote; se o número de unidades defeituosas nesta amostra é no máximo 5%, o lote é aceito; se é no mínimo 10%, o lote é rejeitado. Se o número de unidades defeituosas situa-se entre 5 e 10%, é requerida uma segunda amostra. Então, se o número de unidades defeituosas na amostra combinada dessas duas amostras é no máximo 10%, o lote é aceito; se o número de unidades defeituosas é superior a 10%, o lote é rejeitado.

A amostragem aleatória múltipla inicia com uma amostra relativamente pequena e procede com o incremento sucessivo do tamanho da amostra em etapas, até que o critério de decisão seja logrado. Assim, é um processo de amostragem conveniente por possibilitar a diminuição do tamanho da amostra e a redução de custo e tempo.

Um caso extremo de amostragem múltipla é a **amostragem seqüencial**: a amostra vai sendo acrescida unidade por unidade, até que seja alcançada uma conclusão referente a aceitar ou rejeitar uma dada hipótese referente à população objetivo. A amostragem seqüencial permite minimizar o tamanho médio da amostra em longo prazo.

3.3.2 Amostragem não probabilista

Em algumas circunstâncias pode ser impraticável ou inconveniente a consideração de todas as unidades de uma população real no processo de escolha da amostra. Assim, por exemplo, em uma pesquisa da preferência dos eleitores do Estado do Rio Grande do Sul em relação aos candidatos a governador na próxima eleição, é impraticável constituir a amostra por um subconjunto de indivíduos escolhidos da lista dos eleitores aptos para o exercício do voto; em uma pesquisa da opinião dos cidadãos de um município sobre um tema particular pode ser impraticável ou inconveniente a consideração de todos os habitantes desse município no processo de geração da amostra. Circunstâncias semelhantes ocorrem quando as unidades de uma população real não podem ser todas identificadas ou não são todas acessíveis, como, por exemplo, em um levantamento da população dos peixes de um lago, em um levantamento para caracterização botânica de espécies vegetais nativas de uma região, e em um levantamento dos animais de uma reserva biológica. Nessas circunstâncias, torna-se impraticável ou inviável a utilização de um delineamento de amostragem probabilista.

A utilização de delineamento de amostragem probabilista também é inviável quando a população objetivo é uma população conceitual, cujas unidades não são todas disponíveis no momento de execução da pesquisa. Nesse caso a população objetivo pode ser especificada apenas conceitualmente, ou seja, pela descrição das propriedades das unidades que a constituem.

Em todas essas situações, a escolha da amostra deve ser baseada em critério e julgamento humano. Nessas circunstâncias a probabilidade de cada unidade particular da população objetivo ser escolhida para constituir a amostra não é conhecida. De fato, em muitas situações uma fração considerável dessas unidades não tem chance de ser selecionada para a amostra.

Como esses processos de amostragem não têm base probabilista, não permitem a determinação do erro de amostragem e a avaliação objetiva da representatividade da amostra. Pela essa mesma razão, não possibilitam a derivação de inferências para a população objetivo por procedimentos estatísticos. Tais inferências devem ser baseadas em julgamento subjetivo. Como consequência, são geralmente sujeitas à tendenciosidade, que não pode ser avaliada objetivamente.

Os delineamentos de amostragem não probabilista mais usuais são os seguintes:

- amostragem de julgamento,
- amostragem de conveniência,
- amostragem por quota,
- amostragem não aleatória sistemática,
- amostragem a esmo e
- amostragem mecânica.

Amostragem de julgamento

Em um delineamento de **amostragem de julgamento** a amostra é constituída com base em julgamento do pesquisador que procura selecionar um subconjunto de unidades representativo da população objetivo.

Muito freqüentemente a amostra é escolhida por um especialista na área de pesquisa que, por ser considerado profundo conhecedor das características relevantes das unidades da população objetivo, é julgado habilitado a selecionar uma amostra que represente essas características. Usualmente, um critério importante para a escolha da amostra é a manifestação da variabilidade presente na população objetivo.

Exemplo 3.14

As seguintes pesquisas ilustram delineamento de amostragem de julgamento:

a) Levantamento de opiniões dos operários de uma indústria para o aumento da produtividade em que, por alguma razão, deve ser entrevistada apenas uma parte dos operários; a escolha desses operários é feita pelo gerente de produção por ser considerado o mais habilitado para obter uma representação apropriada do conjunto dos operários.

b) Levantamento de características dos sistemas de produção de feijão de uma região em que deve ser escolhido um subconjunto de municípios cujos produtores devam ser incluídos na amostra; a escolha dos municípios é feita por um grupo de pesquisadores.

A amostragem de julgamento é um processo de amostragem não probabilista muito comum. De fato, é o processo mais usual em situações de população conceitual e o mais praticável em muitas situações de população real de tamanho elevado, particularmente quando há restrições de recursos e tempo. Ele deve ser usado com a compreensão clara de suas limitações e com as cautelas necessárias para que a amostra escolhida represente apropriadamente a população objetivo.

Este processo de amostragem tem a vantagem de ser de custo relativamente baixo, mas a inconveniência de requerer amplo conhecimento da população objetivo e julgamento acurado na escolha da amostra. Por essa razão, ele deve ser usado com muita cautela. Mesmo com esses cuidados, ele não permite a determinação do erro de amostragem e não possibilita a derivação de inferências objetivas para a população objetivo.

Amostragem de conveniência

Em um **delineamento de amostragem de conveniência** a amostra é constituída por unidades selecionadas da população objetivo por algum critério de conveniência, muito freqüentemente relacionado à acessibilidade das unidades.

A amostragem de conveniência é freqüentemente utilizada para obter informações aproximadas sobre a população objetivo em pouco tempo e com baixo custo.

Exemplo 3.15

Esse delineamento de amostragem é ilustrado pelas seguintes pesquisas:

a) levantamento de informações sobre famílias quando o entrevistador escolhe famílias próximas de sua residência ou local de trabalho;

b) levantamento de opiniões dos moradores de um bairro em que o entrevistador decide entrevistar as 200 pessoas que estiverem presentes em uma certa praça no próximo fim de semana; e

c) levantamento de características referentes à qualidade do cimento proveniente de uma indústria em que a amostra é constituída por sacos escolhidos do topo de um ou mais caminhões com uma carga de cimento de dessa procedência.

Esse processo de amostragem é freqüentemente utilizado por ser o mais prático, particularmente em pesquisa exploratória na fase inicial de um programa de pesquisa. Os problemas cruciais da amostragem de conveniência são semelhantes aos inerentes aos outros delineamentos de amostragem não probabilista, ou seja, impossibilidades de avaliação do erro de amostragem e da representatividade da amostra, e de derivação de inferências objetivas. A escolha da amostra por critério de conveniência torna as possibilidades de viés mais elevadas. Nessas circunstâncias, ele deve ser utilizado com os cuidados necessários para evitar tendenciosidade e com a compreensão clara de suas limitações.

Amostragem por quota

Este processo de amostragem não probabilista tem semelhança com o delineamento de amostragem aleatória estratificada. Distingue-se desse delineamento porque as unidades são selecionadas de cada um dos estratos por processo não aleatório. O pesquisador primeiro identifica os estratos e as proporções em que eles estão presentes na população objetivo e, então, utiliza amostragem não aleatória para a seleção do número requerido de unidades de cada um dos estratos (**quota**):

Um **delineamento de amostragem por quota** consiste em: 1) dividir a população objetivo em subpopulações ou estratos que representem as várias categorias em que suas unidades são classificadas segundo alguma característica relevante; 2) determinar o tamanho da fração da amostra (quota) correspondente a cada um desses estratos; e 3) delegar ao executor do levantamento em cada estrato a seleção das unidades até completar a quota que lhe foi assinalada.

A seleção das unidades de cada estrato é usualmente procedida por amostragem de julgamento ou de conveniência. O **Exemplo 3.16** provê ilustrações de amostragem por quota.

Exemplo 3.16

a) Levantamento de informações de produtores rurais de uma região através de entrevistas em que a região é dividida em seções e cada seção é assinalada a um entrevistador, cabendo ao entrevistador a escolha de um determinado número de produtores de sua seção para as entrevistas.

b) Levantamento das condições sócio-econômicas das famílias de um bairro em que o bairro é dividido em segmentos de ruas e são atribuídas aos entrevistadores as escolhas das residências dos correspondentes segmentos de modo a que sejam completados os números pré-determinados residências.

Em um delineamento de amostragem por quota a seleção das unidades de cada subpopulação é usualmente procedida por amostragem de julgamento ou de conveniência. Nesse delineamento, muito freqüentemente, são desconsideradas as unidades não acessíveis ou de acesso difícil. Por essa razão, a representatividade da amostra pode ser altamente suspeita, e não há maneira de avaliar a representatividade de amostra selecionada dessa forma.

Amostragem não aleatória sistemática

Este processo de amostragem não probabilista é utilizável em situações em que as unidades da população objetivo vão se tornando disponíveis uma a uma ao longo do tempo.

Um **delineamento de amostragem não aleatória sistemática**, também denominado **delineamento de amostragem de intervalos**, consiste em tomar uma unidade ao final de cada repetição de um dado intervalo de tempo, na medida em que as unidades da população objetivo vão se tornando disponíveis, ou tomar cada unidade que surge imediatamente após um subconjunto de um determinado número de unidades.

Este processo de amostragem requer que o ponto de partida, ou seja, o instante inicial ou o primeiro item, seja selecionado através de algum critério objetivo. Ele é algumas vezes utilizado na indústria para monitorar o funcionamento de equipamentos e processos de produção e para controle de qualidade de produtos, e em levantamentos que envolvem entrevistas de pessoas. O **Exemplo 3.17** provê ilustrações de algumas dessas situações.

Exemplo 3.17

a) Levantamento para verificar se o conjunto dos equipamentos ou o processo de produção de uma indústria está funcionando segundo as especificações, quando é selecionado um item da linha de produção para teste a cada intervalo de tempo (por exemplo, a cada 60 minutos), a partir de um horário pré-estabelecido.

b) Levantamento para controle da qualidade de um produto industrial em que é selecionado para teste o último item de cada subconjunto de um determinado número de itens produzidos pela linha de produção.

c) Levantamento para pesquisa de opinião dos clientes de uma loja em que é selecionada cada décima pessoa que entra na loja, a partir da abertura da loja.

d) Levantamento para coleta de sugestões dos residentes de uma rua referente a um projeto de remodelação, em que a amostra é constituída pelos ocupantes de cada décima casa dessa rua, a a partir de uma determinada esquina.

Amostragem a esmo

A amostragem a esmo é um processo de escolha da amostra não aleatória particularmente utilizável quando as unidades da população objetivo são indivíduos ou objetos dispostos em algum recipiente, compartimento ou instalação. O pesquisador procura constituir a amostra por unidades escolhidas por processo supostamente corresponde à escolha aleatória sem, no entanto, realizar propriamente sorteio.

Em um **delineamento de amostragem a esmo** a amostra é constituída por unidades selecionadas de diversos pontos da população objetivo escolhidos por algum procedimento que simule o acaso.

A amostragem a esmo é útil para algumas situações em que a população objetivo é muito numerosa, as unidades não são identificadas ou pode ser difícil acessar unidades selecionadas. Nessas circunstâncias, a adoção de processos de amostragem probabilista pode ser muito trabalhosa. Pode ser procedida de diversas formas. Por exemplo, no caso em que as unidades estão dispostas em algum recipiente, pegando as unidades ao alcance da mão, em diversas posições; quando as unidades estão em algum compartimento ou instalação de maior porte, percorrendo o compartimento ou instalação e tomando as unidades ao alcance, em vários pontos. O **Exemplo 3.18** ilustra algumas situações de uso de amostragem a esmo.

Exemplo 3.18

a) Levantamento referente a características dos parafusos contidos em uma caixa procedido através de uma amostra de alguns parafusos pegados em cada um de dez pontos da caixa.

b) Levantamento de características de pintos dispostos em diversas gaiolas cada uma com 100 pintos em que de cada uma dessas gaiolas o pesquisador pega 5 pintos ao alcance de sua mão.

c) Levantamento para caracterização da qualidade da carne armazenada em uma câmara frigorífica cuja amostra é constituída por porções de carne coletadas em diversas posições ao longo de uma caminhada pelo armazém.

A amostragem a esmo pode ser um processo de amostragem confiável se a população objetivo for homogênea ou não houver a tendência de agrupamento sistemático das unidades, e não existir a possibilidade de o pesquisador ser influenciado por alguma característica das unidades.

Amostragem mecânica

Esse processo de amostragem não aleatória é apropriado quando a população objetivo compreende um volume sólido, líquido ou gasoso.

Um **delineamento de amostragem mecânica** consiste em constituir a amostra de uma população objetivo que compreende um volume sólido, líquido ou gasoso por porções tomadas em diversos pontos desse volume escolhidos de modo supostamente casual.

A amostragem mecânica é usualmente procedida com o uso de instrumentos especiais, tais como garra, concha e sonda. Esse processo de amostragem tem semelhança com o processo de amostragem a esmo e deve ser utilizado com os mesmos cuidados indicados para a amostragem a esmo.

Exercícios 3.1

1. Caracterize e ilustre os três seguintes métodos de pesquisa exploratória: estudo de casos, estudo de protótipos e modelagem matemática.
2. Porque o estudo de casos e o estudo de protótipos não provêm base para generalização para a população objetivo?
3. Porque a modelagem matemática é um método de pesquisa exploratória conceitual, diferentemente do estudo de casos e do estudo de protótipos que são métodos de pesquisa empírica?
4. Qual é o principal propósito de uma pesquisa científica descritiva? Ilustre uma situação de sua área em que seria apropriada pesquisa descritiva.
5. Explique a distinção entre levantamento por amostragem probabilista e levantamento por amostragem não probabilista?
6. Caracterize as distinções essenciais entre os seguintes delineamentos de amostragem: amostragem aleatória simples, amostragem aleatória estratificada e amostragem aleatória por conglomerados.
7. Suponha que o Departamento de Estatística de uma universidade deseja efetuar a avaliação do ensino das dezoito disciplinas de estatística oferecidas aos Cursos de Graduação, através de levantamento da opinião de 20% dos alunos matriculados nessas disciplinas no corrente semestre.
 - a) Identifique a unidade e a população objetivo dessa pesquisa.
 - b) Qual dos seguintes delineamentos de amostragem probabilista seria mais apropriado para essa situação: amostragem aleatória simples, amostragem aleatória estratificada e amostragem aleatória por conglomerados. Justifique a resposta.
8. Uma grande empresa de engenharia emprega 200 engenheiros e 50 engenheiras. Suponha que é desejado selecionar uma amostra aleatória de 10% do corpo de engenheiros. Indique a constituição da amostra quanto ao número de engenheiros e engenheiras que resultaria para cada um dos seguintes delineamentos:
 - a) amostragem aleatória simples;
 - b) amostragem aleatória estratificada com igual alocação;
 - c) amostragem aleatória estratificada com alocação proporcional.
9. Estilos literários podem ser distinguidos pelo tamanho das palavras utilizadas. Com o propósito de determinar o estilo de um determinado autor, um estudante de literatura decide sortear cinco dos vinte livros escritos por esse autor e, então, sortear uma página de cada um desses 5 livros e registrar o tamanho de cada uma das 200 primeiras palavras da página. Identifique e explique o delineamento de amostragem utilizado por esse estudante.
10. Um veterinário está pesquisando a incidência de um certo tipo de tumor no gado de uma região, que pode ser detectado por um teste imunológico. Ele acredita que a incidência difere entre partes da região de interesse.
 - a) Identifique a unidade e a população objetivo desta pesquisa.
 - b) Proponha, justificadamente, um delineamento de amostragem apropriado para essa pesquisa.

11. Explique porque delineamentos de amostragem probabilista não são aplicáveis à população conceitual.
12. Caracterize e ilustre com exemplo de sua área a distinção entre delineamento de amostragem de julgamento e delineamento de amostragem de conveniência.
13. Para cada uma das seguintes situações você recomendaria o uso de amostragem: aleatória, de julgamento, de conveniência ou uma combinação desses delineamentos?
 - a) Um professor solicita a seus alunos sugestões para a melhoria do programa de sua disciplina, como base para a preparação de um questionário para um ulterior levantamento das preferências referentes ao programa.
 - b) A administração de uma empresa deseja obter sugestões de seus empregados, através de um questionário, para o aumento da produtividade.
 - c) Uma empresa de aluguel de carros planeja a compra de uma frota de automóveis de um de quatro fabricantes, usando como critério de seleção a economia de operação.
 - d) Uma empresa de pesquisa agropecuária deseja efetuar um levantamento da opinião de produtores da região de sua abrangência para identificar os problemas mais relevantes para pesquisa.
 - e) O editor de um jornal deseja selecionar cartas da correspondência recebida no dia anterior para a seção "opinião do leitor".
14. Explique a distinção essencial entre levantamento por amostragem não aleatória e o método de estudo de casos.

3.4 Pesquisa Explicativa

3.4.1 Relações de características

Pesquisa descritiva pode prover a identificação de relações de associação de características. Embora informações descritivas sejam freqüentemente úteis para predição de características relevantes, usualmente é desejável a identificação da origem da variação dessas características, ou seja, das características cuja variação implique variação dessas características. Além disso, também é desejável conhecer as relações das características que são objeto de predição (**efeitos**) com as características que produzem sua variação (**causas**). Esse conhecimento é importante pelo fato de que o conhecimento das causas aumenta a habilidade para predição e controle dos efeitos.

Em geral, a existência de associação entre características não significa que haja relação causal entre elas. De fato, em particular, duas características A e B podem relacionar-se por associação de uma das diversas formas representadas na **Figura 3.3**:

- a) **causação determinística** - alterações da característica A causam alterações da característica B;
- b) **resposta comum** - alterações de ambas características A e B são causadas por alterações de uma terceira característica C; e
- c) **causação com confundimento** - alterações da característica B são causadas por alterações da característica A e alterações de uma terceira característica C.

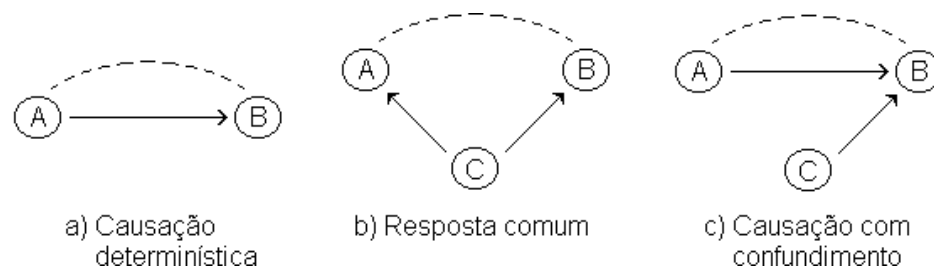


Figura 3.3. Formas de relação de associação de duas características A e B. A relação de associação indicada pelas linhas tracejadas pode resultar de qualquer um dos tipos de relações causais indicadas pelas setas.

A **Figura 3.3** ilustra o fato de que associação de duas características A e B pode não envolver relação causal dessas características, mas decorrer de relação causal de A e B com uma outra característica C, ou de relação causal de B com A confundida com relação causal de B com uma outra característica C.

Assim, uma associação de duas características pode significar uma relação causal ou decorrer de interferência de uma terceira característica. Para inferir que uma relação de associação de duas características A e B corresponde a uma relação causal em que A é a causa e B o efeito é necessário que A preceda B e que não haja explicação alternativa para B.

Duas características têm uma **relação causal** e uma delas é denominada **causa** e a outra, **efeito**, se:

- 1) a causa está relacionada ao efeito;
- 2) a causa precede o efeito; e
- 3) não há outra explicação alternativa plausível para o efeito.

Para mostrar que uma característica A causa alteração de outra característica B deve-se primeiro verificar que alterações da característica A são acompanhadas de alterações da característica B. Entretanto, o estabelecimento de covariação, por si só, não estabelece causalidade. Deve-se estabelecer, também, precedência temporal, ou seja, que a característica A altera-se antes da característica B. Em adição, deve-se estabelecer que a covariação observada entre as características A e B somente pode ser atribuída à característica A, ou seja, que não há explicação plausível para a variação da característica B que não seja a variação da característica A.

É aparente dessa discussão que pesquisas de relações causais requerem conhecimento considerável das características envolvidas e planejamento formal cuidadoso.

O objetivo de uma pesquisa científica explicativa é a derivação de inferências referentes a relações causais entre dois subconjuntos de características das unidades de uma população objetivo. Seu propósito é prover informações para o controle ou predição de um desses subconjuntos de características com base na alteração ou conhecimento do outro subconjunto de características. Mais especificamente:

Uma **pesquisa científica explicativa** visa derivar inferências sobre a relação entre dois subconjuntos das características das unidades de uma população objetivo: um subconjunto de características que exprimem o desempenho dessas unidades e um subconjunto de características cujo controle e alteração possa, supostamente, implicar a melhoria desse desempenho.

A dificuldade desse processo é a presença da variabilidade natural das demais características das unidades.

Em uma pesquisa científica explicativa são identificados três subconjuntos das características das unidades da população objetivo, que são designadas como segue (Figura 3.4):

- características que exprimem o desempenho ou comportamento das unidades:
 - **características respostas;**
- características que supostamente afetam as características respostas:
 - **características explanatórias** ou **características explicativas;** e
- demais características das unidades:
 - **características estranhas.**



Figura 3.4. Os três subconjuntos de características das unidades da população objetivo em uma pesquisa explicativa.

As relações entre esses três subconjuntos de características são representadas na Figura 3.5.

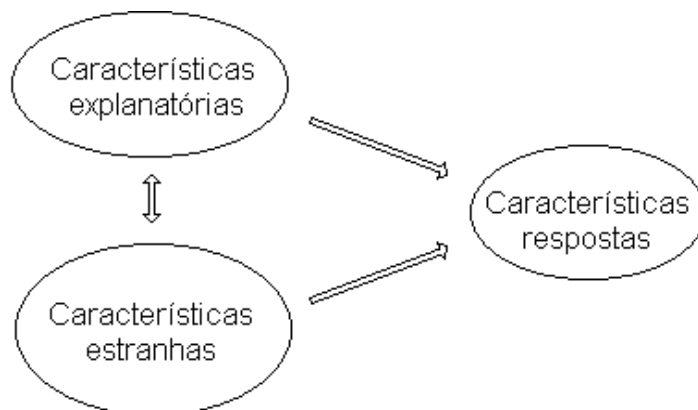


Figura 3.5. Relações entre as características das unidades da população objetivo em uma pesquisa explicativa.

A constituição desses três subconjuntos de características das unidades (sistemas) da população objetivo de uma pesquisa científica particular depende do propósito da pesquisa. Em geral, o subconjunto das características respostas compreende as características referentes ao produto e características dos componentes. O subconjunto das características explanatórias é constituído por características dos insumos e características dos componentes que, supostamente, explicam variações importantes das

características respostas. O subconjunto das características estranhas é constituído pelas demais características dos insumos e dos componentes.

As características respostas e as características explanatórias constituem os objetivos da pesquisa e são designadas com base em teorias científicas substantivas e em conhecimento empírico. A identificação dessas características requer conhecimento e visão da área sob pesquisa. As características estranhas são comumente definidas por exclusão, como o conjunto das características das unidades que não exprimem o desempenho destas e com as quais não tem a pesquisa como propósito relacionar o desempenho das unidades; ou seja, como o conjunto das características das unidades excluídas as características respostas e as características explanatórias. A distinção e a classificação das características nessas três categorias é um passo crucial no planejamento de uma pesquisa explicativa.

Em geral, apenas um subconjunto das características respostas é de interesse em uma pesquisa particular. As características desse subconjunto e as características explanatórias devem ser identificadas e definidas explicitamente. As características estranhas constituem um conjunto extremamente numeroso e usualmente é necessária a individualização apenas das mais relevantes.

As unidades da amostra também compreendem os três subconjuntos das características das unidades da população objetivo, ou seja, o subconjunto das características respostas, o subconjunto das características explanatórias e subconjunto das características estranhas. Conceitualmente, essas características da amostra são as mesmas sob consideração na população objetivo. Idealmente, os níveis das características estranhas da amostra são uma amostra representativa dos correspondentes níveis na população objetivo. Os níveis das características explanatórias da amostra são os próprios níveis da população objetivo ou subconjuntos desses níveis apropriadamente escolhidos.

Esses conceitos são ilustrados pelos exemplos que seguem.

Exemplo 3.19

Seja a pesquisa considerada no **Exemplo 2.3**: “Controle da incidência de giberela em lavouras de trigo da região tritícola do Estado do Rio Grande do Sul”.

O conjunto das características respostas compreende as características que exprimem o desempenho das lavouras, ou seja, as características dos produtos – grãos e características dos componentes – plantas. Entretanto, na presente pesquisa, interessam apenas as características respostas relevantes para os objetivos do experimento, ou seja, as características referentes à produção de grãos e controle da incidência da giberela. As duas características resposta mais importantes são: produção de grãos e grau de infecção de giberela.

Para a consecução do objetivo dessa pesquisa, ou seja, o controle da incidência da giberela, fungo que causa danos a lavouras de trigo dessa região, o pesquisador decide pesquisar o efeito de fungicidas e elege para consideração três fungicidas: Mancozeb, Ciproconazole e Propiconazole, e, também, a ausência de fungicida para verificar a necessidade da aplicação de fungicida. Como o efeito do fungicida pode depender da frequência de aplicação, ele resolve considerar uma única aplicação e duas aplicações do fungicida. Nessas circunstâncias, são definidas duas características explanatórias: fungicida e frequência de aplicação; a primeira com três níveis: os fungicidas Mancozeb, Ciproconazole e Propiconazole, e a segunda com dois níveis – uma e duas aplicações do fungicida. Como os efeitos dos fungicidas podem depender das condições ambientais, que variam no espaço e no tempo, o pesquisador decide conduzir a pesquisa em quatro locais da região tritícola nos próximos três anos; assim, local e ano também são considerados como características explanatórias.

Os níveis na amostra da característica explanatória fungicida são os mesmos da população objetivo, ou seja, os fungicidas Mancozeb, Ciproconazole e Propiconazole e a ausência de fungicida. Os níveis na amostra da característica explanatória frequências de aplicação - uma e duas aplicações também são os mesmos da população objetivo. Entretanto, os níveis das características explanatórias local e ano na amostra são, respectivamente, os locais e anos de

condução da pesquisa; portanto, subconjuntos dos respectivos níveis definidos para a população objetivo, apropriadamente escolhidos para representar as correspondentes populações de níveis.

As características estranhas são as demais características das unidades da amostra, ou seja, as características das unidades excluídas as características respostas e as características explanatórias; portanto, são: as características referentes à semente (genéticas e fenotípicas, tamanho, vigor, pureza, sanidade, etc.), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, etc., excetuadas as características inerentes a local e ano, definidas como características explanatórias), às técnicas de cultivo (preparo do solo, plantio, aplicação de defensivos, excetuado fungicida para controle da giberela e frequência de aplicação, definidos como características explanatórias, etc.), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

A **Figura 3.6** ilustra as relações entre esses três subconjuntos de características da amostra.

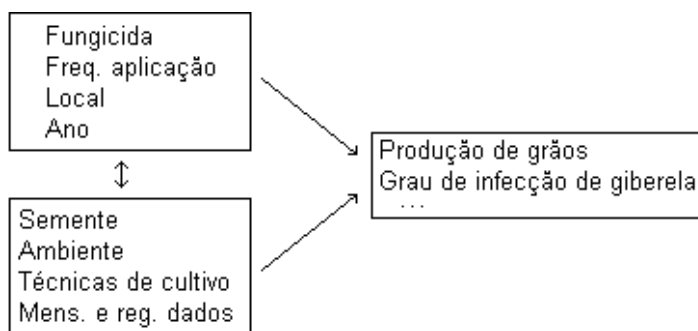


Figura 3.6. Relações entre as características das unidades da amostra no experimento "Controle da incidência de giberela em lavouras de trigo..." (**Exemplo 3.19**).

Exemplo 3.20

Considere-se a pesquisa de que trata o **Exemplo 2.4**: "Controle de vermes intestinais em unidades de produção de carne de cordeiro mamão da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul".

As características respostas importantes para os objetivos do experimento são: peso corporal ao abate, quantidade de parasitas nas vísceras do animal, e peso corporal e quantidade de ovos nas fezes em instantes específicos do período experimental.

O pesquisador decide considerar o anti-helmíntico Ranizole e estabelece o objetivo particular de determinar a dose ótima desse anti-helmíntico no intervalo de 0 a 40 mg/kg peso vivo, para animais machos e fêmeos. Então, há duas características explanatórias sob consideração: anti-helmíntico Ranizole e sexo. Os níveis da primeira característica explanatória na população objetivo são o conjunto das doses do intervalo [0; 40 mg/kg peso vivo]; os níveis da segunda característica explanatória são os dois sexos – macho e fêmeo. Como a incidência de parasitos e, conseqüentemente, o efeito do anti-helmíntico, pode variar com as condições ambientais, é planejado conduzir a pesquisa em três locais, em três anos consecutivos; logo local e ano também são considerados características explanatórias.

Os níveis da característica explanatória anti-helmíntico Ranizole na amostra são um subconjunto dos níveis do intervalo [0; 40 mg/kg peso vivo], apropriadamente escolhidos de modo que a relação entre a característica resposta e essa característica explanatória na população objetivo possa ser aproximada pela correspondente relação manifestada na amostra. Conforme será justificado na **Seção 8.3.3**, os níveis na amostra devem compreender, necessariamente, os dois níveis extremos da população objetivo, ou seja, 0 e 40 mg/kg, e pelo menos um nível intermediário. Então, o pesquisador decide definir para a amostra os níveis 0, 20 e 40 mg/kg. Os níveis da característica explanatória sexo na amostra são os próprios níveis da população objetivo, ou seja, macho e fêmea. Os níveis das características explanatórias local e ano na amostra são os locais e os anos particulares escolhidos para a condução do experimento, ou seja, os subconjuntos dos correspondentes níveis da população objetivo supostamente escolhidos por processo aleatório.

As características estranhas da amostra são as demais características das unidades, ou seja, as características estranhas que não são características respostas nem características explanatórias: características referentes ao animal (genéticas e fenotípicas, sanidade, idade, peso, etc., excetuado sexo, que é característica explanatória), ao ambiente (pastagem, clima, instalações, incidências de doenças, parasitos e predadores, excetuadas as características inerentes a local e ano, que são características explanatórias), ao manejo (preparo do cordeiro, aplicação de antibióticos, vacinas e parasiticidas, exceto aplicação de anti-helmíntico, que é característica explanatória) e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

As relações entre esses três subconjuntos de características da amostra são ilustradas na **Figura 3.7**.

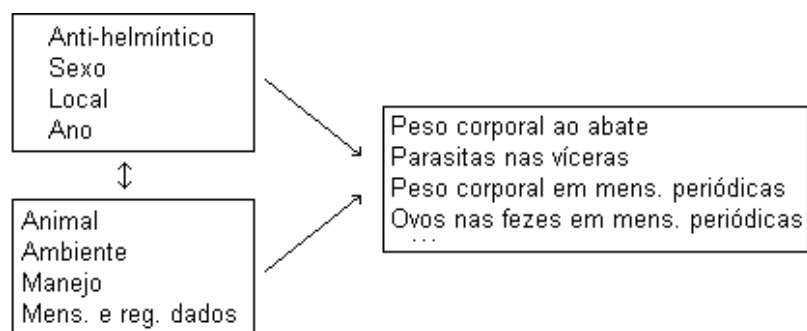


Figura 3.7. Relações entre as características das unidades da amostra no experimento "Controle de vermes intestinais em unidades de produção de carne de cordeiro mamão..." (**Exemplo 3.20**).

Exemplo 3.21

Seja a pesquisa do **Exemplo 2.5**: "Efeito da incidência da virose do enrolamento sobre a quantidade e qualidade da produção de uva de videira da cultivar Itália, na região vitícola do Estado do Rio Grande do Sul".

As características respostas importantes são: peso do cacho, número de cachos, peso médio do cacho, e teor de açúcar e acidez da uva.

O objetivo dessa pesquisa define incidência da virose do enrolamento como uma característica explanatória. O pesquisador decide considerar três graus de infecção: sem infecção, infecção média e infecção forte; logo esses são os três níveis dessa característica explanatória na população objetivo. Local e ano também são considerados como características explanatórias, já que a quantidade e a qualidade da produção de uva pode depender das condições ambientais.

Os níveis da característica explanatória infecção de virose do enrolamento na amostra são aqueles mesmos da população objetivo, ou seja, sem infecção, infecção média e infecção forte. Como nas pesquisas ilustradas nos exemplos anteriores, os locais e os anos da mostra são escolhidos de modo a que seja lograda a apropriada representatividade da variação ambiental da população objetivo.

As características estranhas da amostra são as características das unidades que não são características respostas nem características explanatórias, ou seja: as características referentes à planta (genéticas e fenotípicas, vigor, sanidade, excetuada a incidência da virose do enrolamento, que é uma característica explanatória), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, predadores, etc., excetuadas as propriedades inerentes a local e ano, que são características explanatórias), às técnicas de cultivo (adubação, aplicação de inseticidas, herbicidas, fungicidas, etc.), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Exemplo 3.22

Pesquisa: "Impacto da adoção de novas tecnologias referentes a cultivar, adubação, inseticida, herbicida e fungicida sobre a produtividade de lavouras de feijão do Estado do Rio Grande do Sul" (**Exemplo 2.6**).

A característica resposta mais relevante é o peso da produção de grãos; também são características respostas importantes características referentes a incidências de pragas, invasoras e doenças fúngicas e algumas características da planta, do legume e do grão.

O objetivo da pesquisa define cinco características explanatórias: cultivar, adubação, inseticida, herbicida e fungicida. A primeira dessas características tem número não especificado de níveis; o pesquisador decide considerar dois níveis para cada uma das demais características – adota e não adota. Local e ano também são considerados como características explanatórias, dado que a produtividade do feijão depende do ambiente.

Os níveis das características explanatórias adubação, inseticida, herbicida e fungicida na amostra são os mesmos da população objetivo, ou seja, adota e não adota; os níveis na amostra das características explanatórias cultivar, ano e local são subconjuntos dos níveis da população objetivo, ou seja, as cultivares, os locais e anos, respectivamente, que se manifestem nas unidades escolhidas para constituírem a amostra.

As características estranhas da amostra são as características referentes a: semente (excetuada cultivar, que é característica explanatória), ambiente (excetuadas as propriedades inerentes a local e ano), técnicas de cultivo (excetuadas adubação, inseticida, herbicida e fungicida, que são características explanatórias) e processos de mensuração e de registro dos dados.

A atribuição de causalidade às relações entre características respostas e características explanatórias requer o estabelecimento das três seguintes condições para cada uma das pressupostas característica resposta e característica explanatória: 1) a característica explanatória precede à característica resposta; 2) a característica resposta relaciona-se associativamente com a característica explanatória; e 3) não há explicação plausível para a variação da característica resposta que não envolva variação atribuível à característica explanatória.

A primeira condição é estabelecida pela definição de característica explanatória; a segunda condição deve ser estabelecida empiricamente através de pesquisa conduzida sobre as unidades de uma amostra da população objetivo; e a terceira, através de controle das características estranhas da amostra. Esse fato ressalta a importância do controle da manifestação das características estranhas na pesquisa explicativa.

3.4.2 Controle da amostra

De modo geral, a variação manifestada pelas características respostas nas unidades da amostra é atribuível tanto à variação das características explanatórias como à variação das características estranhas. Como consequência, há um confundimento dos efeitos causais de características explanatórias sobre características respostas com efeitos de características estranhas.

Os efeitos de duas características (explanatórias ou estranhas) sobre uma característica resposta são **confundidos** quando não podem ser distinguidos um do outro.

O confundimento dificulta e pode impossibilitar a derivação de inferências não tendenciosas referentes a relações causais entre características respostas e características explanatórias.

A variação de uma característica resposta atribuível à variação de características estranhas é denominada **erro de pesquisa**.

A designação "erro de pesquisa" provém do fato de que as inferências referentes a efeitos casuais de características explanatórias sobre características respostas estão sujeitas a erro proveniente da variação das características respostas que é devida a

características estranhas. O erro de pesquisa decorre do confundimento de efeitos de características explanatórias com efeitos de características estranhas.

A base da pesquisa científica para inferência de que uma relação entre uma característica resposta e uma característica explanatória é uma relação causal é o seguinte **princípio da causalidade**: se o nível da característica explanatória é alterado e as características estranhas permanecem constantes, qualquer variação manifestada pela característica resposta é atribuível à alteração dessa característica explanatória.

Esse ideal é aproximadamente conseguido em certos experimentos de laboratório em física e em química, onde podem ser construídas unidades essencialmente idênticas, de modo que o erro de pesquisa é reduzido à proporção irrelevante. Com base nesse fato, alguns cientistas chegam a considerar o erro como insignificante ou ignoram sua presença. Como consequência, enquanto as técnicas de laboratório possam ser irreparáveis, as inferências tornam-se descuidadas e subjetivas. Por outro lado, a redução exagerada do erro pode implicar na condução da pesquisa sob condições demasiadamente especiais para permitir inferências para populações de unidades naturais, usualmente com variabilidade considerável. Essa é a circunstância comum nas chamadas ciências naturais, particularmente em biologia.

Como proceder para o estabelecimento de relações causais nessas circunstâncias de impossibilidade ou inconveniência de construção de unidades essencialmente idênticas? Como proceder para controlar as influências das características estranhas, de modo que possam ser estabelecidas inferências referentes a efeitos causais de características explanatórias sobre características respostas de modo tão inequívoco quanto possível?

A solução desse problema essencial da pesquisa explicativa é o controle da amostra no sentido de evitar ou diminuir o confundimento de efeitos de características explanatórias e estranhas, até o ponto em que seja viável e apropriado, e tornar não tendencioso o confundimento remanescente.

Diversos procedimentos podem ser considerados para o controle da amostra com vistas à redução do erro de pesquisa e de sua tendenciosidade:

- controle de técnicas de pesquisa,
- controle local ou emparelhamento,
- controle estatístico e
- casualização.

Controle de técnicas de pesquisa

O **controle de técnicas de pesquisa** compreende a implementação de ações e intervenções para tornar constante ou irrelevante a manifestação de características estranhas da amostra de modo a evitar ou diminuir o confundimento de efeitos dessas características com efeitos de características explanatórias.

O controle de técnicas de pesquisa é exercido desde a escolha inicial da amostra até a mensuração e registro dos dados. Na constituição inicial da amostra ele consiste na seleção ou construção de unidades homogêneas quanto a características estranhas. Durante a condução da pesquisa, ele é efetuado através da implementação controlada de técnicas de pesquisa com o propósito de tornar manifestações de características estranhas constantes ou uniformes e desta forma evitar ou diminuir o confundimento dos efeitos dessas características com efeitos de características explanatórias. O controle de técnicas de pesquisa também é empregado nos processos de mensuração e registro de dados para evitar a introdução de características estranhas que possam implicar

tendenciosidade das inferências referentes aos efeitos causais de características explanatórias sobre características respostas.

O uso do controle de técnicas de pesquisa é lustrado pelo **Exemplo 3.23** através das pesquisas consideradas na **Seção 3.4.1**.

Exemplo 3.23

a) A pesquisa para controle da incidência da giberela do trigo, considerada no **Exemplo 3.19**, deve utilizar técnicas de cultivo uniformes. Se a pesquisa tiver objetivo básico, ela deve ser conduzida em ambiente controlado de uma casa de vegetação.

b) A pesquisa da eficácia de anti-helmínticos no controle de vermes intestinais de ovinos (**Exemplo 3.20**) deve ser conduzida com técnicas de criação uniformes. Se apropriado essa pesquisa deve utilizar um grupo de animais homogêneos.

c) A pesquisa referente à incidência do vírus do enrolamento da videira (**Exemplo 3.21**), conduzida com plantas selecionadas de cada um dos três graus de incidência do vírus, as plantas de um mesmo grau de infecção devem ser tão uniformes quanto possível quanto ao grau de incidência desse vírus e às demais características. Ademais, também devem ser adotadas técnicas de cultivo uniformes para todas as plantas.

d) A pesquisa do impacto de tecnologias sobre a produtividade de lavouras de feijão (**Exemplo 3.22**) não é passível de controle de técnicas de pesquisa, já que as unidades da amostra são unidades da população objetivo, que não são sujeitas à intervenção do pesquisador.

Em todas essas pesquisas, a mensuração e o registro dos dados devem ser procedidos com os cuidados apropriados para evitar erros de pesquisa.

O emprego de técnicas de pesquisa é particularmente importante para o controle da manifestação dos níveis de características explanatórias na amostra. Esse controle é exercido quando o pesquisador escolhe e impõe a manifestação de uma característica explanatória nas unidades da amostra. Tipicamente, são escolhidos para a amostra e atribuídos às suas unidades níveis particulares da característica explanatória, segundo algum plano.

Pela relevância das implicações desse procedimento de controle para a validade de inferências derivadas da amostra, é conveniente distinguir duas classes de características explanatórias: característica de tratamento e característica intrínseca.

Uma característica explanatória cuja manifestação dos níveis na amostra é imposta ou controlada pelo pesquisador é uma **característica de tratamento**; seus níveis na amostra são designados **tratamentos**. Uma característica explanatória que corresponde a uma propriedade inerente às unidades, fora do controle do pesquisador ou sujeitas a seu controle limitado, é uma **característica intrínseca**.

Muito freqüentemente, características explanatórias não são passíveis desse procedimento de controle da amostra. Ademais, quando exequível para uma característica explanatória, usualmente ele é logrado apenas parcialmente, de modo que os níveis que realmente se manifestam na amostra diferem daqueles definidos no plano da pesquisa.

A distinção entre característica de tratamento e característica intrínseca é ilustrada pelo **Exemplo 3.24** com as pesquisas consideradas nos exemplos da **Seção 3.4.1**.

Exemplo 3.24

a) Na pesquisa "Controle da incidência de giberela em lavouras de trigo da região tritícola do Estado do Rio Grande do Sul" (**Exemplo 3.19**), os níveis das características explanatórias fungicida e freqüência de aplicação, ou seja, os três fungicidas e as duas freqüências de aplicação, são atribuídos pelo pesquisador às unidades da amostra. Portanto, fungicida e freqüência de aplicação são características explanatórias de tratamento. Os fungicidas Mancozeb,

Ciproconazole e Propiconazole são tratamentos; as frequências de aplicação - uma e duas aplicações, também são tratamentos. Todavia, os locais e anos são inerentes às unidades da amostra e se manifestam sem controle do pesquisador; portanto, local e ano são características explanatórias intrínsecas.

b) Na pesquisa “Controle de vermes intestinais em unidades de produção de carne de cordeiro mamão da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul” (**Exemplo 3.20**), as doses 0, 20 e 40 mg/kg do anti-helmíntico Ranizole são assinaladas aos animais pelo pesquisador; assim, o anti-helmíntico Ranizole é uma característica explanatória de tratamento e suas doses 0, 20 e 40 mg/kg são tratamentos. Entretanto, sexo é uma característica inerente ao animal que se manifesta fora do controle do pesquisador; logo sexo é uma característica explanatória intrínseca. Por essa mesma razão, local e ano também são características explanatórias intrínsecas.

c) Na pesquisa “Efeito da incidência da virose do enrolamento sobre a quantidade e qualidade da produção de uva de videira da cultivar Itália, na região vitícola do Estado do Rio Grande do Sul” (**Exemplo 3.21**), o grau de infecção da virose do enrolamento é inerente à planta e se manifesta fora do controle do pesquisador; portanto, infecção da virose do enrolamento é uma característica explanatória intrínseca. Local e ano também são características explanatórias intrínsecas. Dessa forma, a presente pesquisa não compreende característica explanatória de tratamento.

d) Na pesquisa do impacto de tecnologias sobre a produtividade de lavouras de feijão (**Exemplo 3.22**), todas as características explanatórias são inerentes às unidades da amostra, não sujeitas ao controle do pesquisador; portanto, todas elas são características explanatórias intrínsecas. Assim, essa pesquisa também não compreende característica explanatória de tratamento.

As características estranhas submetidas ao controle de técnicas de pesquisa se manifestam na amostra de modo constante ou, mais frequentemente, no nível de uniformidade logrado pelo controle exercido. Dessa forma, o confundimento de efeitos relevantes dessas características com efeitos de características explanatórias é eliminado ou reduzido.

A utilização dessa técnica de controle da amostra é limitada em pesquisas tecnológicas, onde é requerido que a amostra represente apropriadamente a população objetivo. Ela deve ser utilizada sem prejuízo da representatividade da amostra, ou melhor, até o ponto em que esse prejuízo possa iniciar.

Controle local ou emparelhamento

O **controle local** ou **emparelhamento** consiste na classificação das unidades da amostra em grupos de unidades segundo os níveis de uma ou mais características estranhas e na separação da variação entre esses grupos da variação dos valores observados da característica resposta de modo que efeitos relevantes de características explanatórias não fiquem confundidos com efeitos das características estranhas controladas.

Supostamente, as unidades de cada um desses grupos são mais homogêneas do que o conjunto das unidades da amostra.

O **Exemplo 3.25** apresenta ilustrações do uso de controle local ou emparelhamento, recorrendo às pesquisas caracterizadas na **Seção 3.4.1**.

Exemplo 3.25

a) Na pesquisa do controle da giberela do trigo com fungicidas (**Exemplo 3.19**), o controle local pode ser exercido pela classificação das unidades em grupos de unidades próximas, usualmente mais semelhantes quanto à variação atribuível a características do solo (características estranhas mais relevantes) do que unidades distantes; então, uma coleção completa dos fungicidas e uma coleção completa das frequências de aplicação de fungicida é assinalada às unidades de cada grupo. Desse modo, aquela variação pode ser eliminada das

diferenças entre fungicidas e das diferenças entre freqüências de aplicação, e do erro de pesquisa.

b) Na pesquisa referente ao controle de vermes intestinais de ovinos com anti-helmínticos (**Exemplo 3.20**), se conduzida com animais de diversas idades, os animais podem ser classificados em grupos segundo suas idades, de modo que os animais de um mesmo grupo tenham idades mais próximas do que animais de grupos distintos; então, uma coleção completa dos anti-helmínticos é atribuída aos animais de cada grupo. Assim, as diferenças mais relevantes atribuíveis à idade dos animais são eliminadas das diferenças entre anti-helmínticos e do erro de pesquisa.

c) Na pesquisa sobre incidência da virose do enrolamento (**Exemplo 3.21**), se as plantas de cada um dos três graus de incidência do vírus forem heterogêneas, as plantas de cada um desses três graus de incidência podem ser classificadas para a formação de um grupo com as plantas de vigor mais elevado, um grupo com as plantas de segundo nível de vigor, e assim sucessivamente, até um último grupo constituído pelas plantas com o nível de vigor mais baixo; dessa forma, a variação atribuível a nível de vigor pode ser eliminada das diferenças entre graus de infecção e do erro de pesquisa.

d) Na pesquisa do impacto de tecnologias sobre a produtividade de lavouras de feijão (**Exemplo 3.22**), também pode ser adotado o emparelhamento através da classificação das lavouras em grupos de lavouras mais homogêneas do que o conjunto de lavouras da amostra quanto a características estranhas relevantes, tais como: tamanho da lavoura e posse da terra.

Controle estatístico

O **controle estatístico** de uma característica estranha compreende o registro de dados dessa característica e seu uso para ajustamento dos valores observados da característica resposta com vistas a eliminar a variação atribuível à característica estranha controlada.

Através de procedimento apropriado de análise estatística, denominado de **análise de co-variação**, a variação atribuível à característica estranha controlada (expressa por uma variável denominada **co-variável** ou **variável concomitante**) é eliminada do erro de pesquisa e das diferenças de resposta entre os níveis das características explanatórias.

Exemplo 3.26

a) Na pesquisa de controle de vermes intestinais de ovinos através de anti-helmínticos (**Exemplo 3.20**), se a variação de peso corporal dos animais de cada grupo de idade constituído pelo controle local é relevante, pode ser apropriado o exercício do controle estatístico do peso corporal, para permitir o ajustamento dos valores observados da resposta de modo a eliminar as diferenças atribuíveis peso corporal.

b) A adoção do controle estatístico não parece relevante nas pesquisas ilustradas no **Exemplo 3.19**, no **Exemplo 3.21** e no **Exemplo 3.22**.

O controle local ou emparelhamento e o controle estatístico não interferem na constituição da amostra. A manifestação das características estranhas controladas é inalterada. Entretanto, a variação da resposta atribuível às características controladas é eliminada de diferenças entre níveis de características explanatórias e do erro de pesquisa. Dessa forma, esses dois procedimentos podem permitir o controle de características estranhas relevantes, eliminando o confundimento de seus efeitos com efeitos de características explanatórias, sem impedir sua manifestação na amostra.

Casualização

A casualização é um procedimento de controle da amostra aplicável a características estranhas cuja manifestação não seja passível de controle de técnicas de pesquisa, de controle local e de controle estatístico. É adotada na atribuição dos tratamentos às unidades da amostra e na implementação de técnicas de pesquisa. Seu

propósito é evitar tendenciosidades do confundimento dos efeitos de características estranhas com efeitos de tratamentos e do erro de pesquisa.

A **casualização na atribuição dos tratamentos** consiste na assinalação dos tratamentos às unidades da amostra através de procedimento objetivo de sorteio que atribua a todas as unidades a mesma chance de receber qualquer dos tratamentos.

A **casualização na implementação de técnicas de pesquisa** compreende o estabelecimento de uma ordem aleatória de execução de técnicas de pesquisa, determinada por algum procedimento objetivo de sorteio que atribua a todas as unidades da amostra igual chance de ser favorecida ou desfavorecida.

Embora na prática a casualização dos tratamentos seja usualmente procedida pela assinalação dos tratamentos às unidades da amostra, em algumas circunstâncias pode ser conveniente considerá-la como a alocação aleatória das unidades aos tratamentos, o que é a mesma coisa.

Naturalmente, a casualização na implementação de técnicas de pesquisa só tem sentido para técnicas de pesquisa que, não sendo controladas pelos outros processos de controle da amostra, possam implicar efeitos tendenciosos sobre variáveis respostas.

Exemplo 3.27

a) Na pesquisa ilustrada no **Exemplo 3.19** a casualização é exercida pelas atribuições aleatórias dos fungicidas e das frequências de aplicação dos fungicidas às unidades de cada grupo de unidades constituído pelo controle local, por procedimento objetivo de sorteio.

b) Na pesquisa do **Exemplo 3.20** a casualização é procedida pela assinalação dos anti-helmínticos aos animais de cada grupo de idade constituído pelo controle local através de procedimento objetivo de sorteio efetuado separada e independentemente para cada um desses grupos de animais.

c) A casualização na atribuição dos tratamentos não é viável nas pesquisas ilustradas no **Exemplo 3.21** e no **Exemplo 3.22**, já que aquelas pesquisas não compreendem características explanatórias de tratamento.

Se há diferenças de composição de características estranhas das unidades que possam favorecer ou desfavorecer as respostas aos tratamentos, a casualização garante que todos os tratamentos tenham a mesma chance de serem favorecidos ou desfavorecidos. Dessa forma, o confundimento dos efeitos de características estranhas abrangidas pela casualização com efeitos de tratamentos torna-se não tendencioso.

A casualização não tem qualquer efeito sobre a constituição da amostra e não evita o confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de características explanatórias. Entretanto, torna esse confundimento não tendencioso.

Classificação das características estranhas implicada pelo controle da amostra

Os procedimentos de controle da amostra são essenciais para a derivação de inferências da amostra para a população objetivo. O controle local ou emparelhamento e o controle estatístico contribuem para a maior sensibilidade para detecção de efeitos atribuíveis a características explanatórias; a casualização permite a detecção de tais efeitos livres de viés.

A seguinte classificação das características estranhas da amostra pode ser útil para a melhor compreensão das implicações das técnicas de controle implementadas para as inferências derivadas para a população objetivo:

- características estranhas controladas,
- características estranhas casualizadas e
- características estranhas potencialmente perturbadoras.

Características estranhas controladas são as características estranhas da amostra cujo controle é exercido através de controle local e de controle estatístico; **características estranhas casualizadas** são as características estranhas abrangidas pela casualização; **características estranhas potencialmente perturbadoras** são as demais características estranhas, ou seja, as características estranhas não controladas nem casualizadas.

Exemplo 3.28

a) Na pesquisa considerada no **Exemplo 3.19** a constituição das três subclasses das características estranhas é a seguinte:

- características estranhas controladas - características permanentes do ambiente, particularmente características do solo (controladas por controle local);
- características estranhas casualizadas - características do solo e demais características permanentes do ambiente, dentro dos grupos de unidades constituídos pelo controle local;
- características estranhas potencialmente perturbadoras - demais características estranhas do material experimental, ou seja: características da semente: genéticas, tamanho, vigor, pureza, sanidade, etc.; características não permanentes do ambiente: clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, etc., excetuadas as características inerentes a local e ano, definidas como características explanatórias; características referentes a técnicas de cultivo: preparo do solo, plantio, aplicação de defensivos, excetuado fungicida para controle da giberela e frequência de aplicação, definidos como características explanatórias, etc.; e características dos processos de mensuração e de registro dos dados.

b) Na pesquisa do **Exemplo 3.20** as três classes de características estranhas compreendem:

- características estranhas controladas - características relacionadas à idade do animal e características relacionadas ao peso corporal (controladas por controle local e controle estatístico, respectivamente);
- características estranhas casualizadas - características dos animais, dentro de cada um dos grupos de idade;
- características estranhas potencialmente perturbadoras - características do animal: genéticas, sanidade, idade, peso, etc., excetuado sexo, que é característica explanatória, do ambiente: pastagem, clima, instalações, incidências de doenças, parasitos e predadores, excetuadas as características inerentes a local e ano, que são características explanatórias; do manejo: preparo do cordeiro, aplicação de antibióticos, vacinas e parasiticidas, exceto aplicação de anti-helmíntico, que é característica explanatória; e dos processos de mensuração e de registro dos dados.

c) A casualização na atribuição dos tratamentos não é viável nas pesquisas ilustradas no **Exemplo 3.21** e no **Exemplo 3.22**, já que aquelas pesquisas não compreendem características explanatórias de tratamento.

- características estranhas controladas – características relacionada ao vigor da planta (controladas por controle local);
- características estranhas casualizadas – nenhuma;
- características estranhas potencialmente perturbadoras - características da planta: genéticas, vigor, sanidade, excetuada a incidência da virose do enrolamento, que é uma característica explanatória; do ambiente: solo, clima, incidências de pragas, doenças, predadores, etc., excetuadas as propriedades inerentes a local e ano, que são características explanatórias; das técnicas de cultivo: adubação, aplicação de inseticidas, herbicidas, fungicidas, etc.; e dos processos de mensuração e de registro dos dados.

Os efeitos causais de características potencialmente perturbadoras sobre características respostas ficam confundidos com efeitos de características explanatórias. Características dessa classe que se manifestam irrelevantes comportam-se como se

fossem casualizadas, ou seja, seus efeitos não resultam confundidos tendenciosamente com efeitos de características explanatórias. O controle de técnicas de pesquisa é o recurso que pode ser apropriado para esse propósito. Os efeitos das demais características potencialmente perturbadoras, que se manifestam de modo relevante, confundem-se tendenciosamente com os efeitos de características explanatórias:

As características estranhas potencialmente perturbadoras que se manifestam de modo relevante cujos efeitos resultam confundidos tendenciosamente com efeitos de características explanatórias constituem a classe das **características estranhas perturbadoras**.

As características estranhas casualizadas e as características estranhas potencialmente perturbadoras constituem o erro de pesquisa. Por essa razão, na suposição ideal de ausência de características estranhas perturbadoras, o erro de pesquisa também é usualmente designado **erro aleatório** ou **erro casual**.

O controle local e o controle estatístico têm como propósitos a diminuição da grandeza do erro aleatório decorrente das características casualizadas ou potencialmente perturbadoras irrelevantes e a diminuição do efeito da tendenciosidade provocada por características perturbadoras. Entretanto, não é prático controlar por esses procedimentos mais do que poucas das características estranhas da amostra. A maioria delas deve ser colocada na classe das características casualizadas, através da casualização, ou das características de comportamento irrelevante, através de técnicas de pesquisa apropriadas.

Exercícios 3.2

1. Suponha que uma pesquisa é conduzida para comparar o efeito de pastagem melhorada sobre o desenvolvimento de bovinos de corte e que são utilizados dois poteiros: um de pastagem melhorada e outro de pastagem nativa. São assinalados animais a esses dois poteiros para constituir uma mesma lotação. Ao final de um intervalo de 120 dias os animais são pesados e é verificado que o ganho de peso dos animais no poteiro com pastagem cultivada é 30 kg superior ao dos animais do poteiro com pastagem natural.
 - a) Que tipo de evidência é necessária para provar que essa diferença de ganho de peso é causada por qualidade superior da pastagem cultivada.
 - b) Essa evidência é disponível?
2. Conceitue e ilustre com um exemplo de sua área as três classes de características envolvidas em uma pesquisa científica explicativa.
3. Qual é o significado e a origem do confundimento de características em pesquisa explicativa?
4. Explique e ilustre o significado de erro de pesquisa em uma pesquisa explicativa. Qual é a sua origem?
5. Distinga e ilustre com exemplos de sua área: característica explanatória de tratamento e característica explanatória intrínseca.
6. Explique e ilustre o controle de técnicas de pesquisa. O que significa dizer que o controle de técnicas de pesquisa molda a amostra?
7. Porque o controle de técnicas de pesquisa pode ser utilizado mais acentuadamente em pesquisa pura ou básica do que em pesquisa aplicada.
8. O que significa o controle local ou emparelhamento? Dê um exemplo desse procedimento de controle da amostra.
9. O que é o controle estatístico? Ilustre com exemplo de sua área.
10. Qual é a distinção quanto às implicações referentes à amostra entre controle local e controle de técnicas experimentais?
11. Explique e ilustre o controle da amostra através da casualização.

12. Qual é o princípio probabilista da casualização na atribuição dos tratamentos às unidades da amostra?
13. Ilustre a utilização da casualização na implementação de técnicas experimentais como um procedimento para o controle da amostra.
14. A atribuição aleatória dos tratamentos às unidades da amostra visa:
 - c) Assegurar que não haja tendenciosidade das avaliações.
 - d) Assegurar que todas as unidades tenham igual chance de receber qualquer tratamento.
 - e) Para que todos os tratamentos sejam comparáveis com respeito a qualquer característica estranha que possa influenciar as respostas.
 - f) Evitar tendenciosidade associada com a alocação dos tratamentos às unidades.

3.5 Métodos de Pesquisa Explicativa

Os métodos de pesquisa explicativa distinguem-se quanto à habilidade para atendimento ao terceiro requerimento para atribuição de causalidade, ou seja, quanto ao controle que exercem sobre as características estranhas da amostra e quanto à representatividade da amostra. Os métodos de pesquisa explicativa mais usuais são:

- experimento,
- levantamento por amostragem explicativo e
- estudo observacional.

3.5.1 Experimento

O **experimento**, também designado **experimento controlado**, é o método de pesquisa explicativa em que há intervenção na amostra e imposição dos níveis de uma ou mais características explanatórias às suas unidades.

A escolha da amostra é geralmente limitada. Suas unidades são escolhidas entre as unidades da população objetivo que são acessíveis ou, mais comumente, são unidades construídas especialmente para a pesquisa. Esse fato torna a representatividade da amostra uma questão crítica no experimento.

Por definição, o experimento compreende pelo menos uma característica explanatória de tratamento. Os níveis dessa característica, ou seja, os tratamentos, são assinalados às unidades da amostra por processo aleatório. Tipicamente, os tratamentos são estímulos assinalados às unidades sob o controle do pesquisador com o propósito de avaliar os correspondentes efeitos sobre características respostas.

Exemplo 3.29

O experimento é o método de pesquisa próprio para as seguintes pesquisas:

- a) "Controle da incidência de giberela em lavouras de trigo da região tritícola do Estado do Rio Grande do Sul" (**Exemplo 2.3, Exemplo 3.19**);
- b) "Controle de vermes intestinais em unidades de produção de carne de cordeiro mamão da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul" (**Exemplo 2.4, Exemplo 3.20**);
- c) "Eficácia de herbicidas no controle de invasoras em lavouras de soja";
- d) "Efeito da suplementação mineral sobre o ganho de peso de aves poedeiras";
- e) "Comparação de cultivares em um programa de melhoramento genético do trigo".

O experimento é o método de pesquisa que adota o controle da amostra mais acentuado. O controle de técnicas de pesquisa, denominado **controle de técnicas experimentais**, é implementado intensivamente, especialmente em experimentos básicos,

que visam à derivação de conhecimento sem propósitos de aplicação imediata. O agrupamento ou classificação de unidades com o propósito de controle de características estranhas, que no experimento é denominado de **controle local**, e o controle estatístico, também são muito freqüentemente adotados. Ademais, o experimento é o único método de pesquisa que adota a casualização na assinalação de níveis de características explanatórias às unidades da amostra.

Por essas propriedades, o experimento é o método de pesquisa que propicia maior confiabilidade para a derivação de inferências referentes a relações causais entre características. Por essa razão, ele é considerado o método de pesquisa explicativa por excelência.

3.5.2 Levantamento por amostragem explicativo

O levantamento por amostragem, embora seja um método de pesquisa mais próprio para pesquisa descritiva (**Seção 3.3**), também é algumas vezes utilizado em pesquisas com objetivo explicativo.

O **levantamento por amostragem explicativo**, ou simplesmente, **levantamento explicativo**, é o método de pesquisa explicativa em que são coletados dados referentes a características das unidades que se manifestam sem interferência do pesquisador.

No levantamento por amostragem explicativo, não há característica explanatória de tratamento; características explanatórias são todas características intrínsecas. Por outro lado, a escolha da amostra pode ser determinada por processo aleatório ou não aleatório, através de um dos diversos procedimentos descritos na **Seção 3.3**.

O levantamento explicativo visa à derivação de inferências sobre relações causais de características. Por exemplo, o levantamento explicativo pode ser utilizado em uma pesquisa com o objetivo de determinar a extensão em que os produtores adotam controle do carrapato, sua atitude em relação a esse controle, as razões para essa atitude e o grau de sucesso obtido no controle.

Em geral, a distinção entre levantamento explicativo e levantamento descritivo não é nítida. Muitos levantamentos têm esses dois propósitos. Uma ilustração é provida pela pesquisa "Impacto da adoção de novas tecnologias sobre a produtividade de lavouras de feijão do Estado do Rio Grande do Sul", descrita no **Exemplo 2.6**.

O levantamento por amostragem explicativo adota controle da amostra em grau consideravelmente menor que o experimento. Não adota controle de técnicas de pesquisa, nem casualização. Por conseguinte, o levantamento explicativo limita-se e deve recorrer de modo mais acentuado à utilização do controle de características estranhas através de emparelhamento e de controle estatístico.

3.5.3 Estudo observacional

O **estudo observacional** é o método de pesquisa explicativa em que as características explanatórias são características inerentes às unidades, que se manifestam sem interferência do pesquisador; a escolha da amostra é limitada às unidades da população objetivo que são acessíveis, ou sobre as quais são disponíveis dados.

Assim como no levantamento por amostragem explicativo, no estudo observacional não há característica explanatória de tratamento; características explanatórias são todas características intrínsecas. Por outro lado, a escolha da amostra é restrita às unidades da população objetivo que são acessíveis. O controle da amostra também é bastante

limitado. O estudo observacional não adota casualização nem controle de técnicas de pesquisa, a não ser, possivelmente, no que se refere ao descarte de unidades que não satisfaçam os requisitos estabelecidos no plano da pesquisa e ao registro de dados. Por essa razão, o estudo observacional deve recorrer ao controle de características estranhas através de emparelhamento e de controle estatístico.

Estudos observacionais explicativos são de três tipos principais:

- estudo observacional prospectivo,
- estudo observacional retrospectivo e
- estudo observacional não controlado.

Estudo observacional prospectivo

Em um **estudo observacional prospectivo** é escolhido um grupo de unidades com as características apropriadas para os propósitos da pesquisa, são registrados dados de características explanatórias sobre essas unidades, e, então, essas unidades são seguidas ao longo do tempo, durante o qual são registradas informações sobre características respostas, algumas vezes correspondentes à ocorrência de algum evento de interesse, como, por exemplo, morte.

Assim, no estudo observacional prospectivo, as características explanatórias são características das unidades presentes no início da pesquisa e as características respostas, características do futuro.

O método de estudo observacional prospectivo é ilustrado pela pesquisa “Efeito da incidência da virose do enrolamento sobre a produção de uva de videira da cultivar Itália, na região vitícola do Estado do Rio Grande do Sul”, considerada no **Exemplo 2.5**.

Em epidemiologia, o método de estudo observacional prospectivo denominado **estudo de coortes** é utilizado para inferências referentes à relação entre incidência de uma doença e fatores de risco. São selecionados dois grupos comparáveis de indivíduos, um dos quais foi exposto a um fator de risco, para verificar se os dois grupos desenvolvem a doença sob pesquisa em proporções diferentes.

Exemplo 3.30

Em uma pesquisa sobre a relação entre hábito de fumar e incidência de câncer de pulmão, efetuada na Inglaterra, entre 1951 e 1961, foram coletados dados de mais de 2/3 de 60.000 médicos aos quais foi enviado um questionário referente a hábito de fumar. Ao cabo de 10 anos, foram registradas 135 mortes associadas a câncer de pulmão, das quais apenas 3 eram de não fumantes. A pesquisa concluiu que o risco de morte por câncer de pulmão de indivíduos fumantes é quase 32 vezes maior que o risco de morte de não fumantes.

Estudo observacional retrospectivo

Em um **estudo observacional retrospectivo** é escolhido um grupo de unidades com as características apropriadas para os propósitos da pesquisa, são registrados dados de características respostas referentes a essas unidades, e, então, são examinadas informações históricas dessas unidades para a identificação de características explanatórias relevantes.

Nessas circunstâncias, no estudo observacional retrospectivo, as características respostas são características das unidades presentes no início da pesquisa e as características explanatórias, características do passado.

Em epidemiologia, o método de estudo observacional retrospectivo denominado **estudo de caso-controle** é utilizado para pesquisa da relação entre fatores de risco e

incidência de uma doença. São escolhidos dois grupos comparáveis de indivíduos, um desses grupos (que é denominado **caso**) constituído por indivíduos que manifestam a doença em consideração e o outro (denominado **controle**) por indivíduos que não a manifestam, para verificar se os dois grupos diferem relativamente à exposição aos fatores de risco em consideração.

Exemplo 3.31

Em uma pesquisa referente a fatores de risco em câncer de mama efetuada no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais, entre 1978 e 1987, foi considerado um grupo de pacientes portadoras de câncer de mama, com idade entre 25 e 75 anos (casos) e um grupo de pacientes sem indicação de patologias mamárias (controle), mas semelhante quanto às distribuições de idade e de data de internação no Hospital. A pesquisa concluiu que a presença de história familiar de câncer aumenta o risco dessa patologia em 8,84 vezes.

Esses métodos de estudo observacional utilizam controle da amostra mais restrito que o experimento. Não adotam a casualização e, em geral, implementam o controle de técnicas de pesquisa de modo consideravelmente menos acentuado que o experimento. Por conseguinte, necessitam recorrer de modo mais acentuado à utilização do controle de características estranhas através de emparelhamento e de controle estatístico.

Nessas circunstâncias, o estudo observacional prospectivo e o estudo observacional retrospectivo são métodos de pesquisa explicativa menos confiáveis do que o experimento. Entretanto, são métodos de pesquisa a que o pesquisador deve recorrer quando a intervenção requerida pelo experimento é impraticável ou inconveniente (**Exemplo 3.21**), muitas vezes por razões de ordem ética. Essa última situação ocorre em muitas pesquisas em saúde humana, como ilustrado no **Exemplo 3.30** e no **Exemplo 3.31**, e em sociologia.

Esses métodos de estudo observacional são algumas vezes denominados **quase-experimentos**, **pseudo-experimentos** e **experimentos naturais**, por terem propósitos e características semelhantes aos do experimento, exceto pela ausência de controle de manifestação de características explanatórias.

Estudo observacional não controlado

O método de **estudo observacional não controlado** utiliza dados existentes em registros, coletados anteriormente para algum propósito diferente do que o da pesquisa. O pesquisador não tem controle sobre a escolha da amostra e nem sobre a coleta dos dados.

Este método de pesquisa recebe várias outras denominações, como **estudo observacional puro** e **pesquisa de arquivo** em algumas áreas de ciências sociais.

Diferentemente dos métodos de estudo observacional prospectivo e estudo observacional retrospectivo, no estudo observacional não controlado não há coleta de dados; são utilizados dados já coletados e disponíveis. Este método de pesquisa utiliza dados provenientes de registros estabelecidos para algum propósito que não o da pesquisa particular. De fato, uma enorme quantidade de dados com informação variada e rica é disponível em arquivos de instituições de pesquisa, repartições públicas, organizações especializadas em levantamento e coletas de dados, hospitais, clínicas, etc.

Exemplo 3.32

Unidades nacionais e regionais de pesquisa agrícola têm disponíveis dados gerados por experimentos regionais de melhoramento genético de plantas, usualmente planejados para a recomendação de cultivares com base na comparação de médias. Esses dados podem ser

explorados para gerar informações relevantes com vários propósitos, através de pesquisas que demandam poucos recursos financeiros. Alguns exemplos:

- a) estudos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos ao ambiente;
- b) regionalização de programas de melhoramento genético vegetal;
- c) regionalização de recomendação de cultivares;
- d) localização de experimentos regionais e determinação das quantidades apropriadas de locais e anos de execução de experimentos.

O estudo observacional não controlado é o método de pesquisa explicativa que usualmente requer menos recursos financeiros. Essa é sua principal vantagem e, por essa razão, ele é utilizado em muitas circunstâncias. Entretanto, ele tem desvantagens bastante restritivas. As principais são: a) ausência de planejamento da pesquisa, particularmente no que se refere à escolha da amostra, ao delineamento da pesquisa e ao processo de coleta dos dados; b) ausência de controle sobre a geração dos dados e, por essa razão, pouca ou nenhuma informação sobre a qualidade dos dados; c) precária representatividade, conseqüente da ausência de controle do pesquisador sobre a escolha da amostra, a não ser, quem sabe, exclusão de unidades segundo informações eventualmente disponíveis; d) muito freqüentemente, dados disponíveis em arquivos foram coletados e expressos em variáveis inapropriadas para uma pesquisa particular; e) também freqüentemente, inexistem informações que possam esclarecer dúvidas de diversas ordens, particularmente referentes à qualidade dos dados.

Por essas características, esse método de pesquisa é pouco recomendável para a derivação de inferências referentes a relações causais de características. Resultados de pesquisas explicativas que o empregam devem ser utilizados com muita cautela e serem mais propriamente considerados como hipóteses a serem verificadas por pesquisa explicativa confiável.

3.5.4 Escolha do método de pesquisa explicativa

Da apreciação das propriedades dos métodos de pesquisa explicativa, pode-se depreender que eles apresentam distinções fundamentais. As diferenças mais importantes dizem respeito ao nível de interferência e controle exercido pelo pesquisador sobre: a) a escolha da amostra, que pode ser efetuada por processo aleatório ou não aleatório, e b) a manifestação das características explanatórias nas unidades da amostra, que pode ser determinada pelo pesquisador por processo aleatório, ou sem a interferência do pesquisador ou com sua interferência limitada. Essas diferenças são resumidas na **Figura 3.8**.

		Manifestação de características explanatórias na amostra	
		Determinada aleatoriamente	Inerente às unidades
Escolha da amostra	Aleatória	-	Levantamento aleatório
	Não aleatória	Experimento	Estudo observacional Levantamento não aleatório

Figura 3.8. Classificação dos métodos de pesquisa explicativa segundo os níveis de controle exercidos sobre a escolha da amostra e sobre a manifestação das características explanatórias na amostra.

Essas diferenças entre os métodos de pesquisa explicativa são relevantes por suas implicações para as duas propriedades desejáveis de uma pesquisa explicativa: a) confiabilidade das inferências referentes a relações causais e b) validade dessas inferências para a população objetivo.

A confiabilidade das inferências referentes a relações causais entre características respostas e características explanatórias distingue o experimento dos demais métodos de pesquisa explicativa. Quanto a essa propriedade, o experimento tem três vantagens importantes sobre os outros métodos de pesquisa explicativa:

- a) o controle sobre a escolha e a manifestação de características explanatórias esclarece o sentido e a natureza da relação causal entre características respostas e características explanatórias;
- b) o controle de técnicas experimentais, o controle local e o controle estatístico garantem um elevado controle da variação atribuível a características estranhas;
- c) a casualização de características estranhas evita a tendenciosidade que possa resultar da manifestação de características estranhas potencialmente perturbadoras;
- d) a flexibilidade dos delineamentos experimentais permite eficiência e manipulação estatística poderosa, enquanto o tratamento analítico de dados de levantamentos e de estudos observacionais apresenta dificuldades estatísticas.

De fato, no experimento níveis específicos de características explanatórias de tratamento são escolhidos e aplicados às unidades por processo objetivo de casualização sob o controle do pesquisador. No experimento ideal, todas as características estranhas são controladas (por técnicas experimentais, controle local ou controle estatístico) ou são casualizadas. Desse modo, não havendo características potencialmente perturbadoras, a tendenciosidade que possa provir dessas características é eliminada.

Essas propriedades garantem a satisfação da segunda condição para atribuição de causalidade e elevada confiabilidade de satisfação da terceira condição (**Seção 3.4.1**). Nessas circunstâncias, se a variável resposta manifesta considerável variação em unidades com diferentes tratamentos pode ser logicamente inferido que essa variação é evidência de que os efeitos desses tratamentos diferem.

Entretanto, no experimento, assim como no levantamento por amostragem não aleatória e no estudo observacional, a escolha não aleatória da amostra pode implicar baixa representatividade e, portanto, tendenciosidade dessas inferências. Como conseqüência, em pesquisas com esses métodos, em geral, há uma disparidade entre a população objetivo e a população amostrada que deve ser levada em conta de modo subjetivo nas inferências. De fato, conceitualmente, inferências da amostra são válidas para a população amostrada; serão válidas para a população objetivo na medida em que a disparidade entre essas duas populações, isto é, o erro de amostragem seja irrelevante. Esse julgamento é necessariamente subjetivo. O levantamento explicativo aleatório não tem esse inconveniente; a escolha da amostra por processo aleatório pode assegurar elevado grau de representatividade e, portanto, validade (ou seja, não tendenciosidade) das inferências para a população objetivo.

As vantagens do experimento como método de pesquisa explicativa são bem conhecidas. Entretanto, em muitas situações, o experimento não é exequível e, mesmo quando exequível, apresenta dificuldades que devem ser contornadas ou toleradas. A primeira delas é que a escolha e a operação de controle de características explanatórias e de características estranhas pode ser difícil. Portanto, o delineamento de um experimento "ideal" pode ser difícil ou impossível. Assim, as vantagens do experimento referentes ao controle da amostra são freqüentemente apenas relativas, não absolutas. Em segundo lugar, é geralmente difícil planejar experimentos com amostras representativas de populações importantes. De fato, o problema da representatividade da

amostra tem sido ignorado na pesquisa experimental. Em terceiro lugar, a elaboração da amostra com o desejado realismo das condições presentes na população objetivo geralmente não é exeqüível e é freqüentemente desconsiderada na pesquisa experimental.

A segunda e a terceira fraquezas do experimento salientam as vantagens do levantamento por amostragem aleatória. Esse método de pesquisa distingue-se pela validade das inferências derivadas para a população objetivo e freqüentemente pela manifestação realista das características. Entretanto, a amostragem aleatória é raramente aplicável em pesquisa explicativa.

De modo geral, em qualquer pesquisa científica apenas parte das condições para inferências confiáveis e válidas pode ser controlada objetiva e firmemente. Outra parte permanece não controlada; suas implicações devem ser avaliadas por julgamento mais ou menos subjetivo. O pesquisador deve usar os recursos disponíveis para maximizar o componente objetivo e, por conseqüência, minimizar o subjetivo, e esforçar-se para exercer julgamento hábil e criterioso. Ele deve fazer a escolha estratégica do método de pesquisa, considerando os propósitos da pesquisa, os meios para sua execução e seus custos, e tendo em conta os três seguintes critérios desejáveis da pesquisa científica:

- representatividade,
- realismo e
- confiabilidade.

A ênfase na representatividade ou no realismo ou na confiabilidade tende a resultar, respectivamente, em levantamento por amostragem aleatória ou em estudo observacional ou em experimento. Como ressaltado anteriormente, o experimento é poderoso no controle de características explanatórias e de características estranhas, mas é usualmente fraco no que diz respeito à representação da população objetivo e freqüentemente também quanto ao realismo. O levantamento por amostragem aleatória é forte em relação à representatividade, mas fraco no controle de características. Estudos observacionais são usualmente fracos no controle e, também, na representatividade; sua vantagem é o realismo da manifestação das características da população objetivo na amostra.

Usualmente, esses três critérios não podem ser adequadamente satisfeitos em uma pesquisa científica, e, freqüentemente, nem mesmo dois deles, por inviabilidade ou por falta de recursos. Muito comumente, o pesquisador enfatiza um critério por razões de custo e conveniência, ou porque ele pode parecer, convincentemente ou esperançosamente, o mais justificável. Por outro lado, nenhum dos três critérios é superior aos demais para todas as situações e, algumas vezes, os três podem ser satisfeitos em pesquisas complementares de um programa de pesquisa. Assim, para cada situação, o pesquisador deve decidir por um compromisso entre o desejável e o exeqüível, e escolher a estratégia de pesquisa que melhor se ajuste aos recursos disponíveis.

Ademais, cada um desses métodos de pesquisa explicativa pode ser aperfeiçoado com esforços para superar suas principais fraquezas. Levantamentos podem ser melhorados pelo uso de informações auxiliares para o controle de características potencialmente perturbadoras. Por outro lado, algumas vezes experimentos e estudos observacionais podem ser melhorados quanto à representatividade através de algum compromisso entre a amplitude desejada para a população objetivo e a amplitude que pode ser lograda para a população amostrada.

3.6 Utilização dos Métodos de Pesquisa Científica

Um resumo das características essenciais dos métodos de pesquisa descritos nas **Seções 3.2, 3.3 e 3.5** será útil para a melhor compreensão de sua aplicabilidade na pesquisa científica.

Os métodos de pesquisa exploratória (estudo de casos, estudo de protótipos e modelagem matemática) são **métodos de pesquisa sistêmicos**, isto é, métodos de pesquisa que enfocam as unidades globalmente. A distinção fundamental entre o método de estudo de casos e o método de estudo de protótipos é que o primeiro enfoca as unidades existentes sem a intervenção do pesquisador, enquanto que no último as unidades são montadas ou construídas com base na síntese de informações sobre as unidades presentes na população objetivo, informações geradas pela pesquisa científica e opiniões. A modelagem matemática efetua a representação conceitual das unidades existentes e das novas unidades que inserem resultados recentes gerados pela pesquisa científica e, também, opiniões.

Os métodos de pesquisa descritiva (censo e levantamento por amostragem) e os métodos de pesquisa explicativa (experimento, estudo observacional e levantamento explicativo) são **métodos de pesquisa analíticos**, que enfocam partes das unidades, ou seja, subconjuntos relativamente pequenos de características dessas unidades.

Na fase de síntese inicial de um ciclo do método científico o pesquisador procede à apreciação e inspeção global das unidades da população objetivo para detectar as características relevantes, particularmente as mais influentes sobre o funcionamento e o desempenho das unidades, e examinar o relacionamento dessas características, com propósitos de identificar problemas importantes e obter sugestões de hipóteses férteis. Essa é uma fase de pesquisa exploratória. O estudo de casos e a modelagem matemática são úteis nessa fase de síntese.

Na fase de análise, o levantamento descritivo é útil para prover a descrição das características relevantes e de suas relações, e identificar problemas e hipóteses de pesquisa. Pesquisas descritivas e pesquisas exploratórias são particularmente relevantes para o estabelecimento dos caminhos de pesquisa explicativa mais eficazes. Então, passam a serem aplicáveis os métodos de pesquisa explicativa, ou seja, o experimento, o estudo observacional e o levantamento explicativo. O novo conhecimento gerado por essas pesquisas é caracteristicamente esparso, já que é derivado por um conjunto de pesquisas que abrangem diversas partes das unidades.

Na fase de síntese final, esse novo conhecimento deve ser inserido no corpo de conhecimento existente, através de novas pesquisas que enfoquem os sistemas globalmente. O estudo de protótipos e a modelagem matemática são os métodos de pesquisa próprios para esse propósito.

Resumidamente, esse enfoque de pesquisa requer a execução de pesquisas exploratórias, descritivas e explicativas, que demandam a utilização apropriada e estratégica dos diversos métodos de pesquisa descritos nas **Seções 3.2, 3.3 e 3.5**, nas fases de síntese inicial, de análise e de síntese final de cada ciclo do método científico (**Figura 3.9**).

Fase de síntese inicial	Fase de análise	Fase de síntese final
Estudo de casos Modelagem matemática	Experimento Estudo observacional Levantamento	Estudo de protótipos Modelagem matemática

Figura 3.9. Utilização dos métodos de pesquisa científica nas três fases de um ciclo do método científico.

Para ilustrar a utilização e inter-relação desses métodos de pesquisa, considere-se a situação da pesquisa agropecuária.

O experimento e o levantamento por amostragem são métodos tradicionais na pesquisa agropecuária. O estudo observacional tem sido pouco empregado. Entretanto, este método de pesquisa pode ser utilizado com grande proveito; principalmente o estudo observacional não controlado que pode ser útil para o aproveitamento da grande massa de dados gerados por pesquisas já executadas, com custos relativamente baixos.

O estudo de casos e o estudo de protótipos têm sido ocasionalmente utilizados na pesquisa agropecuária. Em agropecuária, um caso pode ser, por exemplo, uma propriedade agrícola, uma fazenda, uma lavoura, um pomar, ou uma instalação de uma granja, para o qual o produtor proporcione informações confiáveis e dê facilidades de acesso e de estudo aprofundado. Um protótipo pode ser um desses mesmos tipos de unidade instalado pela instituição de pesquisa, em sua própria base física ou em propriedade de produtor, para simular com realismo um sistema de produção viável, incorporando resultados indicados pela pesquisa.

O estudo de casos e o estudo de protótipos são métodos de pesquisa exploratória de grande potencial de uso, que poderão ser implementadas com proveito, respectivamente para o melhor conhecimento dos sistemas em uso pelos produtores e para teste da integração de tecnologias geradas pela pesquisa nos sistemas reais. Constituem, também, instrumentos de alta valia para a integração da atividade de pesquisa com a extensão e a aproximação com os produtores. A modelagem matemática também pode cumprir essas funções, com a vantagem sobre aqueles dois métodos empíricos de proporcionar mais flexibilidade para simular sistemas de produção reais de uma gama muito mais ampla. De fato, modelos físicos usualmente se restringem a uma fórmula básica em uma única situação ambiental, ou a poucas fórmulas em poucas situações ambientais, em decorrência de elevados custos e restrições práticas. Modelos conceituais bem desenvolvidos são flexíveis, o que permite sua utilização para verificar os distintos comportamentos de sistemas sob várias alternativas tecnológicas e diversas condições ambientais. Entretanto, precisam ser testados empiricamente, e para esses testes os modelos físicos são relevantes. Assim, essas duas formas de modelagem não são alternativas nem competidoras: o modelo físico auxilia no teste do modelo conceitual, e este colabora na generalização daquele.

Os métodos de pesquisa sistêmicos, particularmente a modelagem matemática, surgiram e se desenvolveram principalmente em aplicações na indústria. Na agropecuária, os sistemas são usualmente mais complexos, o que torna a construção desses modelos difícil e trabalhosa. Já existem exemplos bem sucedidos nesta área, mas ainda resta muito a desenvolver. As principais dificuldades a superar são, principalmente, a falta de formação dos pesquisadores para entendimento da metodologia científica, particularmente dos métodos de pesquisa sistêmicos, e a falta de pessoal especializado nessa metodologia.

A utilização dos vários métodos de pesquisa científica tem implicações recíprocas. Para a melhor compreensão do uso inter-relacionado desses métodos de pesquisa é

conveniente classificá-los em três grupos: 1) modelagem matemática, 2) estudo de casos e estudo de protótipos, e 3) experimento, estudo observacional e levantamento. A **Figura 3.10** ilustra as principais inter-relações do uso desses três grupos de métodos de pesquisa:

(1) → (2): Modelos matemáticos sugerem a montagem ou modificação de protótipos e fornecem recomendações para os produtores ("casos").

(2) → (1): Estudos de casos e estudos de protótipos permitem validar modelos matemáticos, fornecem informações para o desenvolvimento desses modelos e sugerem novos modelos.

(3) → (5): Modelos matemáticos geram problemas e hipóteses para experimentos, levantamentos e estudos observacionais.

(5) → (3): Experimentos, levantamentos e estudos observacionais fornecem informações para a formulação e aperfeiçoamento de modelos matemáticos.

(4) → (6): Estudos de casos e estudos de protótipos sugerem problemas e hipóteses para experimentos, levantamentos e estudos observacionais.

(6) → (4): Experimentos, levantamentos e estudos observacionais sugerem recomendações para modificar determinados componentes dos sistemas reais (protótipos e casos).

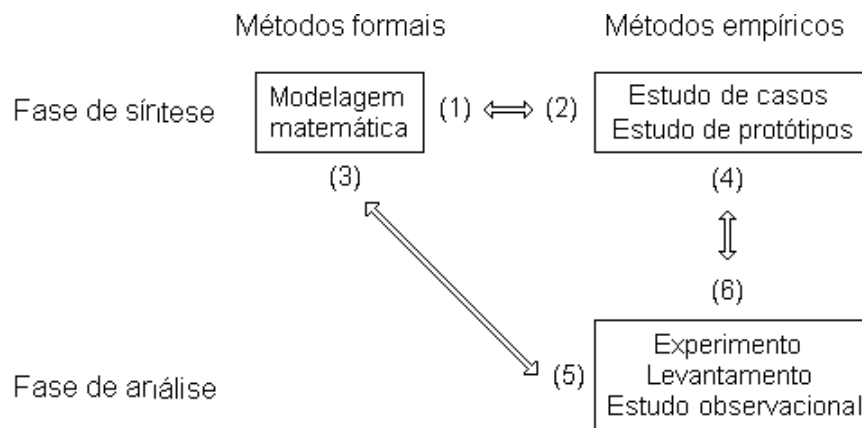


Figura 3.10. Relações entre os três grupos de métodos de pesquisas na pesquisa agropecuária.

É importante salientar, também, as inter-relações entre as pesquisas dentro de cada um dos dois grupos de pesquisas empíricas: levantamentos e estudos observacionais são úteis para sugerir problemas e hipóteses para experimentos; estudos de casos podem prover informações para utilização na montagem de protótipos; e estudos de protótipos geram recomendações para produtores (casos).

Exercícios 3.3

1. Explique e ilustre, através de exemplos, cada um dos seguintes métodos de pesquisa explicativa: experimento, levantamento por amostragem explicativo e estudo observacional. Quais são as diferenças essenciais que distinguem esses métodos de pesquisa?
2. Porque o experimento é algumas vezes referido como o método de pesquisa explicativa por excelência?
3. Está sendo planejada uma pesquisa para verificar a hipótese de que novas cultivares de milho com teores mais elevados do aminoácido lisina têm maior valor nutritivo do que cultivares de milho comuns. Com esse propósito serão preparadas rações mistas de milho e soja, combinando milho de cada uma de três cultivares – duas dessas novas cultivares e uma cultivar comum - com cada um de três níveis de proteína: 12%, 18% e 24%. Cada uma dessas

- rações será assinalada a 10 pintos de um dia por um período de três semanas. O valor nutritivo da ração será avaliado pelo ganho de peso dos animais nesse período.
- Identifique as características respostas relevantes nessa pesquisa.
 - Identifique e liste as características explanatórias e os correspondentes níveis. Quais dessas características são características de tratamento? Quais são características intrínsecas?
 - Qual é o método de pesquisa utilizado nessa pesquisa? Porque?
4. Considere os dois seguintes planos para uma pesquisa com o propósito de testar a hipótese de que o exercício físico reduz o risco de ataque cardíaco:
- A - É escolhido um grupo de 1.000 homens de mais de 40 anos de idade que fazem exercício físico regularmente e não tiveram ataque cardíaco. Cada um desses indivíduos é emparelhado com um indivíduo semelhante, mas que não faz exercícios com regularidade. Os dois grupos são acompanhados por um período de 5 anos durante o qual é registrada a ocorrência de ataques cardíacos.
- B - É utilizado um grupo de 2.000 homens de mais de 40 anos de idade que não tiveram ataque cardíaco e que estão dispostos a participar voluntariamente da pesquisa. O pesquisador submete 1.000 desses indivíduos a um programa regular de exercícios supervisionados. Os outros 1.000 indivíduos continuam com seus hábitos. Os 2.000 indivíduos são acompanhados por um período de 5 anos.
- Especifique a unidade e a população objetivo dessa pesquisa.
 - Indique uma característica de cada uma das três seguintes classes: característica resposta, característica explanatória e característica estranha.
 - Identifique o método de pesquisa adotado em cada um desses dois planos de pesquisa.
 - Qual desses dois planos produziria resultados mais fidedignos? Justifique sua resposta.
5. Considere um experimento para verificar a hipótese de que o tempo (em dias) que uma carta postada em uma dada cidade leva para chegar à capital do Estado é afetado pela hora do dia em que a carta é postada e pela indicação, ou não, do CEP.
- Especifique as duas características explanatórias a considerar e os correspondentes níveis.
 - Explique os procedimentos de controle da amostra que você utilizaria para o controle de características estranhas relevantes, como o dia da semana em que a carta é postada.
6. Há alguns anos, foi conduzida uma pesquisa para comparar a remoção do seio, que era o tratamento mais comum para o câncer de seio, com o novo tratamento de remoção apenas do tumor e dos nódulos linfáticos vizinhos seguido de um tratamento por radiação. Para a comparação desses tratamentos quanto à eficácia, um grupo de médicos examinou os registros de 25 grandes hospitais e comparou os tempos de sobrevivência após a cirurgia de todas as mulheres que tinham recebido um ou outro desses dois tratamentos.
- Identifique as características respostas relevantes e as características explanatórias nessa pesquisa.
 - Explique porque essa pesquisa não constitui um experimento.
 - Identifique o método de pesquisa adotado nessa pesquisa.
 - Identifique as características estranhas relevantes cujos efeitos possivelmente tenham resultado confundidos tendenciosamente com os efeitos dos tratamentos.
 - Explique por que a inferência objeto dessa pesquisa foi de baixa fidedignidade.
7. Porque estudos observacionais prospectivo e retrospectivo são algumas vezes denominados quase experimentos ou pseudo-experimentos?
8. Caracterize as diferenças essenciais entre experimento e levantamento por amostragem aleatória quanto ao controle na escolha da amostra e na manifestação dos níveis de características explanatórias nas unidades da amostra. Indique suas implicações para as inferências derivadas através da pesquisa.
9. O que distingue o experimento do estudo observacional quanto às mesmas formas de controle que são consideradas na questão anterior?

10. Explique os significados e as implicações dos três critérios desejáveis de uma pesquisa científica, ou seja, representatividade, realismo e confiabilidade. Caracterize a distinção dos métodos de pesquisa explicativos quanto a esses três critérios.
11. O que distingue essencialmente os métodos de pesquisa analítica e os métodos de pesquisa sistêmica?
12. Explique como os métodos de pesquisa exploratória (estudo de casos, estudo de protótipos e modelagem matemática) podem ser utilizados nas fases de síntese, análise e síntese que constituem um ciclo da aplicação do método científico na pesquisa científica.

Exercícios de Revisão

1. Explique porque o estudo de casos não permite a generalização que é propiciada por métodos de pesquisa descritiva nem inferências referentes a relações causais que são providas por métodos de pesquisa explicativa.
2. Porque o método de estudo de protótipos não propicia inferências referentes a relações causais com grau de confiabilidade aceitável e não provê base para generalização para outras unidades da população objetivo?
3. Exemplifique uma situação de sua área em que o método de estudo de casos poderia ser útil.
4. Ilustre o uso do estudo de protótipos através de um exemplo de sua área.
5. Explique a distinção essencial entre o método de estudos de protótipos e o método de estudo de casos.
6. O que significa amostra aleatória em uma pesquisa científica? Qual é sua importância?
7. O que significam levantamento por amostragem aleatória e levantamento por amostragem não aleatória? Qual é a implicação da distinção entre essas duas formas de levantamento por amostragem quanto à representação da população objetivo pela amostra?
8. Suponha que em cada uma das seguintes situações deve ser utilizada amostra aleatória estratificada ou amostra aleatória por conglomerados ou uma combinação desses dois delineamentos. Indique, justificadamente, qual desses três delineamentos você recomendaria para cada uma dessas situações.
 - a) Uma companhia aérea deseja a opinião de seus passageiros de primeira classe e de classe turista sobre a qualidade de suas refeições servidas a bordo, através de um questionário que deve ser preenchido imediatamente após as refeições.
 - b) Uma cooperativa de produtores de trigo e soja pretende comparar a eficácia de dois fertilizantes para a ampla gama de condições de clima e solo de sua abrangência.
 - c) Uma grande cadeia de supermercados deseja conhecer a opinião de seus fregueses sobre a qualidade do atendimento prestado, através de entrevistas no âmbito desses supermercados.
9. Especifique a característica das unidades da população objetivo considerada para estratificação em cada um dos delineamentos de amostragem ilustrados no **Exemplo 3.8**.
10. Discuta a adequabilidade do delineamento de amostragem considerado para cada uma das pesquisas ilustradas no **Exemplo 3.5** e no **Exemplo 3.8**. Para cada uma dessas pesquisas sugira um delineamento alternativo, caso julgue apropriado.
11. Identifique situações em sua área em que você adotaria cada um dos diferentes delineamentos de amostragem não probabilista.
12. Dê um exemplo de delineamento de amostragem não probabilista não mencionado nesse Capítulo e explique porque ele não deve ser utilizado.
13. Ilustre uma situação de sua área de aplicação de delineamento de amostragem sistemático.
14. Explique qual é a diferença essencial entre:
 - a) censo e levantamento por amostragem;
 - b) amostragem probabilista e amostragem não probabilista;
 - c) amostragem aleatória simples e amostragem aleatória estratificada;
 - d) amostragem de conveniência e amostragem de julgamento.

15. Qual é o significado de relação causal de características?
16. Explique porque características respostas são mais freqüentemente características do produto e características explanatórias, características dos insumos.
17. Qual é a razão da importância da distinção entre característica explanatória de tratamento e característica explanatória intrínseca?
18. Porque o controle de técnicas de pesquisa não pode ser aplicado de modo ilimitado?
19. Explique como o controle de técnicas de pesquisa, o controle local e o controle estatístico diminuem o confundimento de efeitos de características explanatórias e de características estranhas sobre características respostas.
20. Qual é a propriedade fundamental que distingue o experimento dos demais métodos de pesquisa explicativa?
21. Explique a distinção fundamental entre:
 - a) experimento e levantamento explicativo;
 - b) experimento e estudo observacional;
 - c) estudo observacional retrospectivo e estudo observacional prospectivo;
 - d) levantamento descritivo e levantamento explicativo.
22. Para cada método de pesquisa explicativa que é especificado nas entradas das linhas da tabela que segue, indique se o pesquisador tem ou não controle objetivo na escolha da amostra e na manifestação de características explanatórias, preenchendo nas células da tabela as letras S e C, respectivamente para as indicações de sem controle e com controle.

Método de pesquisa explicativa	Controle exercido pelo pesquisador	
	Escolha da amostra	Manifestação de características explanatórias
Experimento		
Levantamento por amostragem aleatória		
Levantamento por amostragem não aleatória		
Estudo observacional		

23. Porque inferências referentes a relações causais podem ser derivadas com mais fidedignidade de um experimento do que de um estudo observacional?
24. Identifique e caracterize os métodos de pesquisa apropriados para as pesquisas consideradas no exercício 13 dos **Exercícios 2.1**.
25. Identifique o método de pesquisa explicativa que é adotado em cada uma das pesquisas caracterizadas a seguir:
 - a) A reação da barbeta de pintos à injeção de fitohemaglutinina (FHA) é usada como uma indicação de resposta de imunidade. Pintos de 3 a 6 dias foram assinalados aleatoriamente a quatro tratamentos – um controle e 3 diferentes aminas suspeitas de interferirem com a resposta de imunidade. Trinta minutos após a aplicação dos tratamentos, as aves receberam injeção de 100 microgramas de FHA. A espessura da barbeta foi medida antes da injeção e 24 horas após.
 - b) Para a pesquisa do tempo de permanência do resíduo de um antibiótico no leite, esse antibiótico é aplicado a cada um de um conjunto de oito animais. O leite produzido por esses animais é coletado em 6 ordenhas sucessivas a cada 12 horas, por um intervalo de 72 horas após a administração do antibiótico.
 - c) Foi conduzida uma pesquisa da influência da remoção dos ovários de cadelas sobre o subsequente desenvolvimento de incontinência urinária. Cadelas adultas disponíveis para a

pesquisa foram assinaladas aleatoriamente a dois grupos, um dos quais foi imediatamente submetido à cirurgia de remoção do ovário. As cadelas foram acompanhadas durante um período de 6 meses.

- d) Uma pesquisa da influência da gestação de gêmeos sobre a amplitude do período de gestação de vacas da raça Hereford foi conduzida com dois grupos de vacas, um dos quais constituído de vacas com gestação de gêmeos e outro com um grupo de vacas semelhantes do mesmo rebanho, mas gestantes de um único animal.
- e) Um pesquisador deseja determinar se vacas portadoras de encefalopatia espongiiforme de bovinos (EEB) produzem mais descendentes que desenvolvem essa doença do que as mães com resposta negativa para EEB. Para tal, ele estuda dois conjuntos de animais com idade acima de seis anos, um dos quais constituído por vacas que haviam desenvolvido EEB e outro, por vacas que não tinham revelado sinais clínicos de EEB em seis anos. Esses dois conjuntos de vacas foram emparelhados com respeito a rebanho e idade. Os descendentes dessas vacas foram acompanhados até os sete anos, ou até o desenvolvimento da doença.
- f) A medroxiprogesterona (MPA) é administrada a cadelas para o controle de sintomas de cio. Para a pesquisa do efeito da administração de MPA em cadelas sobre a subsequente chance de desenvolvimento de tumores mamários, foram utilizadas 98 cadelas com idade entre 6 e 9 anos com tumores mamários, e um grupo de animais de idade semelhante, mas que não tinham sinais de tumores mamários. Foi verificado, pela história desses animais, que 38 cadelas do grupo positivo para tumor e 21 do grupo livre de tumor tinham recebido MPA anteriormente.
- g) Uma pesquisa ampla foi conduzida para comparar dois métodos de tratamento de doenças de próstata: a cirurgia tradicional e um novo método que não requer cirurgia, utilizando registros do serviço de saúde pública do Canadá.
26. Qual é a propriedade comum do estudo de protótipos e do experimento? Qual é a propriedade essencial que distingue esses dois métodos de pesquisa? Porque o estudo de protótipos não tem as propriedades explicativas desejáveis do experimento para a derivação de inferências referentes a relações causais?
27. Um estudo da relação entre liderança e aptidão física utilizou executivos de meia idade que se ofereceram como voluntários. Com base em um programa de exercícios e um exame físico final, esses indivíduos foram classificados em dois grupos, um de alta aptidão e outro de baixa aptidão. Todos os indivíduos foram, então, submetidos a um teste psicológico destinado a medir a capacidade de liderança. Os dois grupos foram comparados para a derivação de inferências sobre a relação entre liderança e aptidão física. Esse estudo constitui um experimento? Explique sua resposta.
28. Explique como os métodos de pesquisa, descritiva, exploratória e explicativa podem ser utilizados racionalmente na pesquisa científica.
29. Explique o significado da sentença "as abordagens de pesquisa sistêmica e analítica não são alternativas ou competidoras, mas complementares".
30. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
- a) O estudo de casos e o estudo de protótipos são métodos de pesquisa que se distinguem pelo fato de que no as unidades são observadas sem interferência do pesquisador e no as unidades são construídas pelo pesquisador. distingue-se desses dois métodos por ser um método de pesquisa conceitual, em que as relações de características são representadas por um modelo matemático.
- b) é o método de pesquisa descritiva em que a amostra é a própria população objetivo; se a amostra é constituída por parte das unidades da população objetivo, o método de pesquisa é denominado
- c) No delineamento de amostragem aleatória as unidades da população objetivo são selecionadas independentemente e têm igual chance de constituírem a amostra. No delineamento de amostragem aleatória as unidades são classificadas em grupos e, então, é selecionada uma amostra aleatória simples de cada um desses grupos. No delineamento de amostragem aleatória as

- unidades são classificadas em grupos e, então, é extraída uma amostra aleatória desses grupos.
- d) Os delineamentos de amostragem , e são três delineamentos de amostragem não probabilista que se distinguem pelo fato de que no primeiro a escolha da amostra é efetuada por algum critério de conveniência, no segundo por julgamento subjetivo de modo a resultar a “melhor” representação da população objetivo, e no terceiro a população objetivo é dividida em subpopulações e a seleção das unidades das correspondentes subpopulações é delegada aos executores do levantamento.
- e) Em uma pesquisa explicativa, as características da amostra podem ser classificadas em três classes: características , características e características As características exprimem o desempenho das unidades; as características são aquelas que supostamente podem afetar convenientemente as características da primeira classe.
- f) decorre do confundimento dos efeitos de características explanatórias com efeitos de características estranhas. é o recurso para controlá-lo.
- g) Características explanatórias podem ser classificadas em características e características , segundo sua manifestação nas unidades da amostra esteja sujeita ou não ao controle do pesquisador. A manifestação dos níveis de uma característica é determinada pelo pesquisador, através de que é um procedimento objetivo que atribui a todas as unidades a mesma chance de receber qualquer dos níveis da característica; a manifestação de uma característica é inerente às próprias unidades.
- h) O controle de técnicas de pesquisa, o controle local ou emparelhamento e o controle estatístico distinguem-se quanto às suas implicações para a constituição da amostra. O controle visa tornar constante ou reduzir a variação de características estranhas relevantes, enquanto que o controle e o controle não alteram a constituição da amostra.
- i) As características estranhas da amostra podem ou não estar sujeitas ao controle da amostra. As características sujeitas ao controle local ou ao controle estatístico são denominadas características ; as características estranhas abrangidas pela casualização são denominadas características ; as características não controladas e não casualizadas são denominadas características As características dessa última classe que se manifestam de modo relevante, ocasionando confundimento tendencioso com efeitos de características explanatórias são designadas características.....
- j) Os métodos de pesquisa explicativa são: , e O controle da manifestação de características explanatórias é a propriedade essencial que distingue o e que lhe atribui confiabilidade mais elevada para inferências referentes a relações causais. O é o método de pesquisa explicativa que adota o controle da amostra mais acentuadamente; em particular, é o único que utiliza Entretanto, no experimento usualmente há limitação na escolha da amostra e, muito freqüentemente, a amostra não é constituída por unidades da população objetivo, mas por unidades construídas; como decorrência o experimento tende a ser o método de pesquisa explicativa mais fraco quanto às outras duas propriedades desejáveis de uma pesquisa explicativa, ou seja, e
31. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () Métodos de amostragem probabilista podem ser utilizados para populações conceituais.
- 2 () Métodos de amostragem probabilista podem ser sempre utilizados em pesquisas de populações reais.

- 3 () Em um delineamento de levantamento por amostragem aleatória estratificada a amostra é constituída por um mesmo número de unidades de cada estrato da população objetiva.
- 4 () É impossível a derivação de inferências de pesquisas descritivas com delineamento de amostragem não probabilista.
- 5 () Inferências derivadas de levantamentos por amostragem não probabilista são necessariamente subjetivas.
- 6 () A distinção entre delineamento de amostragem aleatória estratificada e delineamento de amostragem aleatória simples é que no primeiro a amostra é constituída por unidades selecionadas aleatoriamente de cada estrato da população objetiva.
- 7 () A distinção entre os delineamentos de amostragem aleatória estratificada e amostragem por conglomerados é que no primeiro a amostra é constituída por unidades de todos os grupos ou estratos, enquanto que no segundo, por uma amostra aleatória desses grupos.
- 8 () Métodos de amostragem de conveniência, de julgamento e por quota são muito úteis para populações conceituais.
- 9 () Com o delineamento de levantamento por amostragem de julgamento, a amostra é constituída por unidades da população objetivo que são escolhidas pelo pesquisador de modo para resultar a “melhor” representação da população objetivo.
- 10 () Em uma pesquisa exploratória ou descritiva, características da amostra se manifestam sem interferência ou manipulação do pesquisador; este apenas registra os dados das características de interesse.
- 11 () O levantamento por amostragem é algumas vezes utilizado em pesquisa explicativa, mas é mais apropriado para pesquisa descritiva.
- 12 () Estudo de casos e estudo de protótipos são métodos apropriados para pesquisa exploratória.
- 13 () Os métodos de estudo de casos e estudo de protótipos são úteis para identificação de problemas de pesquisa e indicação de sugestões de hipóteses de pesquisa.
- 14 () A modelagem matemática pode ser utilizada em pesquisa descritiva, mas é mais apropriada para pesquisa exploratória.
- 15 () Em uma pesquisa explicativa, o pesquisador interfere, manipulando características da amostra e provocando a manifestação conveniente destas.
- 16 () As características explanatórias em uma pesquisa são as características que exprimem o desempenho das unidades da correspondente população objetivo.
- 17 () A identificação das características respostas e das características explanatórias em uma pesquisa depende do objetivo da pesquisa.
- 18 () A amostra compreende os mesmos três grupos de características que constituem as unidades da população objetivo, ou seja, características respostas, características explanatórias e características estranhas.
- 19 () Características de tratamento são características explanatórias cujos níveis se manifestam na amostra sob o controle do pesquisador.
- 20 () O erro de pesquisa resulta do confundimento dos efeitos de características explanatórias sobre características respostas com efeitos de características estranhas.
- 21 () Em uma pesquisa explicativa, todas as características respostas são igualmente importantes e devem ser identificadas.
- 22 () O pesquisador deve identificar individualmente cada característica estranha das unidades da amostra.
- 23 () Em uma pesquisa, apenas um subconjunto das características explanatórias precisa ser identificado e definido explicitamente.
- 24 () Toda característica da amostra que não é controlada por controle local ou controle estatístico pode ser casualizada.

- 25 () O controle de técnicas de pesquisa é o procedimento de controle da amostra próprio para evitar o surgimento de características perturbadoras.
- 26 () O usualmente denominado erro aleatório é constituído exclusivamente pelas características estranhas casualizadas.
- 27 () O experimento é o método de pesquisa característico da ciência.
- 28 () O experimento é um método de pesquisa que compreende o controle da manifestação de pelo menos uma característica explanatória.
- 29 () O experimento é o único método de pesquisa em que o pesquisador tem controle sobre a manifestação de características explanatórias da amostra.
- 30 () O levantamento por amostragem não é um método de pesquisa recomendável para pesquisa explicativa.
- 31 () Não há diferença essencial entre um experimento e um levantamento por amostragem.
- 32 () O estudo observacional é um método de pesquisa descritiva.
- 33 () No estudo observacional retrospectivo características explanatórias são registradas no presente e características respostas, no futuro.
- 34 () Os estudos observacionais são os métodos de pesquisa que propiciam maior representatividade.
- 35 () O experimento é o método de pesquisa que propicia maior confiabilidade.
- 36 () Entre os métodos de pesquisa explicativa, o experimento é geralmente o mais fraco quanto ao realismo e à representatividade; entretanto, essas duas propriedades do experimento podem ser melhoradas com a disponibilidade de recursos e a escolha apropriada da amostra.
- 37 () No estudo de protótipo, assim como no experimento, o pesquisador tem acentuado controle sobre características da amostra; portanto, o estudo de protótipo também é um método próprio para pesquisa explicativa.
- 38 () Assim como no levantamento por amostragem, no estudo de casos o pesquisador não interfere na amostra.
- 39 () Por serem métodos de pesquisa sistêmicos, os métodos de pesquisa exploratória são próprios para as fases de síntese inicial e final de um ciclo da aplicação do método científico.
- 40 () Métodos de pesquisa explicativa são próprios para a fase de análise.

Conceitos e Termos Chave

- Método de pesquisa
- Estudo de casos
- Modelagem matemática
- Censo
- Amostragem probabilista
- Amostragem aleatória estratificada
- Amostragem sistemática
- Amostragem de julgamento
- Amostragem por quota
- Característica explanatória
- Controle da amostra
- Erro de pesquisa
- Método de pesquisa exploratória
- Estudo de protótipos
- Método de pesquisa descritiva
- Levantamento por amostragem
- Amostragem aleatória simples
- Amostragem aleatória por conglomerados
- Amostragem não probabilista
- Amostragem de conveniência
- Característica resposta
- Característica estranha
- Confundimento
- Controle de técnicas de pesquisa

- Controle local / emparelhamento
- Casualização
- Característica intrínseca
- Característica estranha casualizada
- Característica estranha perturbadora
- Experimento
- Levantamento por amostragem explicativo
- Estudo observacional prospectivo
- Estudo de coortes
- Estudo observacional não controlado
- Realismo
- Método de pesquisa analítico
- Controle estatístico
- Característica de tratamento
- Característica estranha controlada
- Característica estranha potencialmente perturbadora
- Método de pesquisa explicativa
- Técnica experimental
- Estudo observacional
- Estudo observacional retrospectivo
- Estudo de caso-controle
- Representatividade
- Confiabilidade
- Método de pesquisa sistêmico

Bibliografia

- BERNARD, C. **Introducción al estudio de la medicina experimental**. Buenos Aires: Losada, 1944. 309p.
- BERTALANFFY, L. von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973. 351p.
- BROCKINGTON, N. R. Sistemas, modelos y experimentos en agricultura. In: SCARCI, J.C. (editor). **ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA INVESTIGACIÓN GANADERA**. Montevideo: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas – OEA, 1972. p.3-15.
- CAREY, S. S. **A beginner's guide to scientific method**. 2. ed. Belmont, CA: Wadsworth, 1998. 152p.
- COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. 2. ed. New York: John Willey, 1963. 413p.
- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics; principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. 2.ed. New York: John Willey, 1963. 413p.
- FEDERER, W. T. **Statistics and society; data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- GARAGORRY, F. L. **Introdução ao método de estudo de casos**. EMBRAPA, Série DMQ/B/18. Brasília, 1980.
- KEMPTHORNE, O. Why randomize? **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.1, p.1-25, 1977.
- KEMPTHORNE, O. Sampling inference, experimental inference and observation inference. **Sankhya**, 40, Serie B, Parts 3 and 4, p.115 145, 1979.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.

- LASTRUCCI, C. L. **The scientific approach, basic principles of the scientific method.** Cambridge, Massachusetts: Schenkman, 1963. 257p.
- MITCHELL, M.; JOLLEY, J. **Research design explained.** 3. ed. Fort Worth, Texas: Harcourt Brace, 1996. 624p.
- PALMA, O. I.; CATTO, J. B.; MASTROCOLA, M. A.; VIEIRA, L. M.; GARAGORRY, F. L. **Modelo de simulação para a pesquisa pecuária no Pantanal Mato-grossense.** Brasília: EMBRAPA, Série DMQ/A/26, 1978. 51p.
- PETRIE, A.; WATSON, P. **Statistics for veterinary and animal science.** Londres: Blackwell Science, 1999. 243p.
- SHADISH, W. R.; COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. **Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference.** Boston: Houghton Mifflin, 2002. 623p.
- SILVA, J. G. C. da. Métodos Quantitativos no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA): Um programa de capacitação e reciclagem de pesquisadores agrícolas. In: SILVA, E.C. (editor) **Métodos Quantitativos e Planejamento na EMBRAPA com Enfoque na Informação e na Tecnologia da Informação.** Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Departamento de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, 1995. p.69-87.
- SILVA, J. G. C. da. Método científico e pesquisa agropecuária. In: SILVA, E.C. (editor) **Métodos quantitativos - Planejamento e qualidade na EMBRAPA.** Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Departamento de Pesquisa e Difusão de Tecnologia, 1997. p.1-46.
- SMITH, T. M. F.; SUGDEN, R. A. Sampling and assignment mechanisms in experiments, surveys and observational studies. **International Statistical Review**, v.56, n.2, p.165-180, 1988.
- SOARES, J. F.; COLOSIMO, E. A. **Métodos estatísticos na pesquisa clínica.** Minicurso. Ribeirão Preto: Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 1995. 105p.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research.** New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

4 Pesquisa Experimental

Conteúdo

4.1	Introdução.....	130
4.2	História Breve	130
4.3	Caracterização do Experimento.....	134
4.4	Processo do Experimento	140
4.4.1	Estabelecimento do problema e formulação da hipótese.....	140
4.4.2	Planejamento do experimento	140
	Planejamento da amostra	141
	Planejamento das ações e dos procedimentos para a execução do experimento.....	141
	Definição do modelo estatístico e dos procedimentos de análise dos dados.....	141
4.4.3	Condução do experimento.....	142
4.4.4	Análise dos resultados	142
4.4.5	Interpretação dos resultados, elaboração das conclusões e sua divulgação	143
4.5	Lista de Referência para a Execução de um Experimento.....	144
4.6	Protocolo do Experimento.....	147
4.7	Correspondência entre Objetivos, Plano e Análise do Experimento.....	151
4.8	A Estatística na Pesquisa Experimental.....	152
	Exercícios de Revisão	154
	Conceitos e Termos Chave.....	157
	Bibliografia.....	158

4.1 Introdução

Nos **Capítulos 2 e 3**, foram estabelecidas a base conceitual da pesquisa científica e a caracterização dos métodos de pesquisa científica. Foi esclarecida a importância da utilização complementar dos diversos métodos de pesquisa nas diversas fases da aplicação do método científico.

O experimento foi conceituado como o método de pesquisa explicativa em que o pesquisador intervém na amostra, impondo deliberadamente os níveis de uma ou mais características explanatórias com o propósito de derivar inferências referentes aos efeitos causais dessas características sobre características respostas. Essas características explanatórias são denominadas características de tratamento e seus níveis, tratamentos. Exemplos comuns de tratamentos são diferentes estímulos apresentados ou impostos a animais ou plantas, tais como diferentes dietas administradas a animais ou diferentes fungicidas aplicados a plantas. Em um estágio inicial, o objetivo do experimento pode ser, simplesmente, descobrir se os estímulos produzem qualquer resposta mensurável, enquanto que em um estágio de pesquisa ulterior pode ser confirmar ou refutar certas conjecturas que tenham sido formuladas sobre as respostas aos tratamentos.

O experimento é o método de pesquisa que cumpre os requisitos essenciais que caracterizam a propriedade analítica do método científico. De fato, por muito tempo ele foi considerado o único método de pesquisa que provê o avanço do conhecimento científico referente a relações causais entre fenômenos.

Observe-se que a palavra “experimento” é comumente empregada em dois contextos: para designar o método de pesquisa explicativa definido na **Seção 3.5** e para designar a pesquisa que utiliza esse método. Neste segundo contexto também é utilizada a designação “pesquisa experimental”.

Neste Capítulo, faz-se uma caracterização mais ampla do experimento e da pesquisa experimental. Um resumo da evolução do método experimental é o tema da **Seção 4.2**. A **Seção 4.3** apresenta os conceitos de experimento em diversos contextos e caracteriza os que são considerados neste texto. A **Seção 4.4** discorre sobre o processo da pesquisa experimental, principalmente sobre as grandes etapas do experimento, particularizando o tema tratado anteriormente na **Seção 2.4**. O processo do experimento é detalhado na **Seção 4.5** através de uma lista de referência que indica os passos e os cuidados que devem ser tomados na execução de um experimento. Na **Seção 4.6** é salientada a importância da documentação escrita do experimento, particularmente do plano do experimento. Finalmente, a **Seção 4.7** aborda o papel da Estatística na pesquisa experimental e estabelece um conceito de estatística experimental.

4.2 História Breve

O conceito atual de experimento como método de pesquisa científica é recente. A evolução do método experimental foi paulatina e lenta, até chegar aos dias atuais. Os marcos dessa evolução e as contribuições mais relevantes são resumidos a seguir.

A origem da pesquisa experimental é freqüentemente atribuída ao filósofo inglês Francis Bacon (1561-1626), no século 17. Entretanto, o método experimental remonta a pelo menos 4 séculos antes de Cristo, quando Aristóteles (384-322 a.C.) fez diversas descobertas referentes ao mundo natural. Com base em experimentos, axiomas e argumentos filosóficos, Aristóteles concluiu, por exemplo, que a aceleração de um corpo em queda livre depende de sua massa, e que a terra devia ser uma esfera, já que a esfera é o sólido mais “perfeito”. No século 2 antes de Cristo, o astrônomo e matemático Cláudio Ptolomeu de Alexandria, desenvolveu uma teoria do universo a partir das idéias

de Aristóteles. Através de argumentos geográficos, Ptolomeu afirmou que a terra era uma esfera e, sendo imóvel, devia ser o centro do universo, porque, se assim não fosse, o ar mais leve seria deixado para trás, por causa de sua aceleração mais lenta.

Essas teorias foram aceitas sem controvérsia e assim permaneceram até a Idade Média. O percussor da nova era de indagação científica foi o filósofo inglês Roger Bacon (1220-1292), que tornou a matemática e o método experimental a base da história natural. O termo "ciência experimental" foi popularizado através de sua obra. Segundo ele, o homem adquire conhecimento através de raciocínio e experiência, mas sem a experiência ele não pode ter qualquer certeza.

No século 16, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) reavivou as teorias do sistema solar formuladas originalmente pelo filósofo e matemático grego Pitágoras (580-500 a.C.) seis séculos antes de Cristo. Copérnico sustentou que o sol devia ser o centro do universo. Entretanto, sua obra foi publicada apenas após sua morte.

O médico e físico inglês William Gilbert (1544-1603), particularmente interessado em magnetismo, foi um dos primeiros experimentadores. Ele submetia, sistematicamente, o conhecimento existente e suas conjecturas a teste experimental. Além disso, ele percebeu a necessidade de repetição, no caso de expectativa de variação do resultado de um experimento.

Francis Bacon (1561-1626) sustentou que o ponto de partida de toda ciência deve ser fatos observados empiricamente e que toda teoria é confiável na medida em que seja derivada desses fatos. O matemático, astrônomo e físico florentino Galileu Galilei (1564-1642) também é considerado um dos fundadores do método experimental. Outras contribuições importantes para o método experimental se originaram nos séculos 17 e 18, principalmente com as obras do matemático e filósofo francês René Descartes (1596-1650), do físico e matemático inglês Isaac Newton (1642-1727) e do cientista francês Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794). A consolidação do método experimental também teve a influência relevante do trabalho do renomado médico e fisiologista francês Claude Bernard (1813-1878), que consolidou sua obra em seu célebre livro "Introduction à la médecine expérimentale".

O desenvolvimento da experimentação agrícola teve início em fins do século XVIII, na época do desenvolvimento agrícola, originado da revolução industrial e da necessidade de alimentar uma população urbana em rápido crescimento. A química estava iniciando a ser estabelecida em sua forma moderna e já era reconhecida sua importância para a compreensão da nutrição e do crescimento de plantas. Foram criadas cadeiras de agricultura em Oxford, Inglaterra, em 1790, e em Edimburgo, Escócia, em 1797. O professor Humphrey Davy (1778-1829) da Instituição Real da Grã Bretanha lecionou um curso anual de química em Londres durante dez anos, de 1803 a 1813, e o publicou em 1813 no livro "Elements of agricultural chemistry", que teve grande influência no desenvolvimento da química. Na Alemanha, o renomado químico agrícola Justus von Liebig (1803-1873) foi nomeado Professor de Química da Universidade de Giessen, em 1824. Dessa forma, a agricultura, com uma base firme em química, tornou-se aceita como uma área acadêmica.

A origem da ciência moderna da genética aplicada à agricultura é creditada aos trabalhos experimentais de cruzamentos com ervilha desenvolvidos pelo monge austríaco Johann Gregor Mendel (1822-1884). A hoje conhecida "teoria mendeliana da herança" foi apresentada em seu artigo "Experiments with plant hybrids", publicado em 1866. Entretanto, o trabalho de Mendel permaneceu desconhecido até o início do século 20, quando se iniciou o extraordinário desenvolvimento da genética. Ao mesmo tempo, outros cientistas estavam conduzindo experimentos e desenvolvendo teorias referentes ao cruzamento de plantas. Assim, por exemplo, o naturalista inglês Robert Charles Darwin (1809-1892) publicou, em 1876, o artigo "The effects of cross and self fertilization in the vegetable kingdom", que divulgou os resultados de experimentos sobre

autofertilização e fertilização cruzada em plantas realizados em uma pequena casa de vegetação.

Na Inglaterra, John Bennet Lawes (1814-1900) após a morte de seu pai, em 1834, decidiu interromper seus estudos de química em Oxford e dirigir suas propriedades em Rothamsted. Ele obteve condições para trabalhar nos laboratórios de química do Colégio da Universidade de Londres e, em seguida, instalou um laboratório em Rothamsted, onde iniciou experimentos com fertilizantes de superfosfato derivado de ossos e de fosfatos minerais. Em 1842, depois de prolongada experimentação dos efeitos de adubos sobre plantas em vasos e em campo, ele obteve patente para seu processo de produção de superfosfato a partir do tratamento de rochas fosfatadas com ácido sulfúrico, e iniciou a primeira indústria de fertilizantes artificiais. Em 1843, Lawes associou-se ao químico inglês Joseph Henry Gilbert (1817-1901). Em 1843, Lawes e Gilbert fundaram, em Rothamsted, a primeira estação experimental agrícola organizada do mundo. Até 1900, durante mais de meio século, esses dois cientistas trabalharam juntos em pesquisa experimental em nutrição de plantas e de animais, tornando o trabalho de Rothamsted renomado em todo o mundo. Pela importância desse trabalho, Lawes e Gilbert têm sido referidos como os pais do método científico na agricultura.

Muitos dos experimentos de Lawes e Gilbert continuam em andamento em Rothamsted, por interesse histórico e pelas valiosas informações que têm provido com referência a alterações químicas e biológicas de solos submetidos à adubação química por tempo prolongado. Naturalmente, os delineamentos utilizados nesses experimentos não seriam aceitos hoje, pois eles não adotam os princípios fundamentais do delineamento de experimento, ou seja, casualização, repetição e controle local, e suas parcelas são demasiadamente longas. Isso apesar da necessidade da repetição já ser reconhecida na metade do século passado. Ademais, embora os tratamentos de alguns desses experimentos revelem aparência de estrutura fatorial, os níveis e as combinações de níveis são muito irregulares. Mesmo com as suas imperfeições, esses experimentos foram valiosos como ponto de partida para o desenvolvimento da pesquisa experimental. Assim, por exemplo, tendo sido reconhecido que os resultados obtidos nos solos argilosos de Rothamsted podiam não ser repetíveis em outros tipos de solo, a partir de 1876, foi estabelecida uma série paralela de experimentos em solos arenosos de Woburn. Essa iniciativa parece ter sido o primeiro reconhecimento formal da importância da variação ambiental entre locais.

Além de importância científica, os trabalhos experimentais de Rothamsted também são relevantes por sua influência no desenvolvimento da metodologia experimental moderna. Entretanto, esses não foram os únicos trabalhos de experimentação agrícola daquele período. Muitas outras contribuições importantes para a experimentação agrícola surgiram na Europa e nos Estados Unidos. Uma das iniciativas mais importantes na história da pesquisa e da educação agrícola foi tomada em 1862 com a criação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e dos colégios de agricultura e artes mecânicas em cada estado daquele país. Trabalhos experimentais particularmente relevantes foram desenvolvidos na Estação Experimental de Agricultura de Connecticut, fundada em 1875.

Delineamentos experimentais sistemáticos têm uma longa história em agricultura. Quadrados latinos sistemáticos foram usados na Alemanha e na França no século 19, e várias formas de esquemas de grade, especialmente esquemas baseados no movimento do rei em xadrez, foram usados na Escandinávia no último quarto do século 19. Esses delineamentos reconhecem, claramente, a necessidade da repetição e de alguma forma de balanceamento.

Em torno de 1900, foram criados departamentos de agricultura em diversas universidades e colégios, e foram fundadas novas instituições de pesquisa agrícola, principalmente na Inglaterra e nos Estados Unidos. Em 1889, John Lawes estabeleceu a

Fundação Agrícola Lawes para permitir a continuação dos experimentos de Rothamsted. Após a morte de Gilbert, A. Daniel Hall foi designado Diretor da Estação Experimental de Rothamsted. Hall é lembrado por seus experimentos de uniformidade com W. B. Mercer. Possivelmente, Hall e Mercer tenham sido os primeiros a reconhecerem que devem ser associadas medidas das grandezas dos erros a dados de experimentos em agricultura. Ulteriormente, eles estabeleceram padrões para tamanhos de parcelas de alguns tipos de experimentos. Em Cambridge, o astrônomo T. B. Wood e o professor de agricultura F. J. M. Stratton mostraram um procedimento para estimação de erros em um experimento de nutrição animal, e reportaram um dos primeiros experimentos de uniformidade.

Em 1912, Daniel Hall foi sucedido por John Russell, um químico agrícola conhecido e com vocação para administração científica. Russell passou a preocupar-se com os enormes arquivos de dados gerados pelos resultados de 70 anos dos experimentos de Rothamsted. Sabendo que a instituição responsável pelo censo tinha métodos para extrair informações de grandes massas de dados, ele decidiu procurar um profissional familiar com tais métodos que estivesse preparado para examinar os dados de Rothamsted e obter informações que ainda não haviam sido conseguidas. Para tal tarefa, ele contratou Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), um jovem matemático do Colégio Caius de Cambridge.

As expectativas de Russell foram mais que superadas. No período de 1919 a 1933, em Rothamsted, Fisher desenvolveu a teoria e os métodos, na medida em que foi necessitando. Ele observou, logo, que podiam ser planejados experimentos melhores do que aqueles de Lawes e Gilbert e seus sucessores, e iniciou o desenvolvimento do ramo da estatística relacionado com o planejamento e a análise de experimentos. Fisher lançou os fundamentos modernos da pesquisa experimental, as bases da inferência estatística e delineou muitos métodos originais para os vários problemas encontrados em Rothamsted e em outras instituições de pesquisa. Introduziu diversas técnicas de análise de dados, como a análise da variação, que passou a ser amplamente utilizada na análise estatística de dados de experimentos, e a técnica de polinômios ortogonais para o uso de características ambientais. Seu primeiro livro, "Statistical methods for research workers", um texto essencialmente prático, publicado em 1925, difundiu os novos métodos e os tornou disponíveis para pesquisadores em agricultura e biologia.

No ambiente propiciado por Rothamsted, Fisher conseguiu a aplicação prática de sua teoria da inferência estatística e alcançou conclusões relevantes para a pesquisa científica. Uma dessas conclusões é que a quantidade de informação gerada pelas inferências de uma pesquisa não pode ser maior do que a contida nos dados. Conseqüentemente, o processo de geração dos dados e, particularmente, o planejamento da pesquisa, passaram a assumir importância fundamental. Fisher compreendeu logo que, enquanto o mais elaborado procedimento estatístico de análise de dados poderia incrementar a precisão de um experimento em alguns pontos percentuais, um plano experimental mais apropriado, envolvendo praticamente o mesmo esforço, podia aumentar a precisão em dobro ou muitas vezes mais, podendo, além disso, fornecer informação adicional sobre questões suplementares importantes.

Ao fim dos 14 anos de trabalho na pesquisa agrícola, as idéias de Fisher já eram reconhecidas e sua metodologia moderna do planejamento e análise de experimentos estava em pleno uso.

Fisher enfatizou o papel fundamental da repetição como uma base para a estimação do erro e por conseqüência para a avaliação da evidência em favor da realidade dos efeitos. Lançou a noção inovadora da casualização e elaborou várias formas de delineamentos casualizados, particularmente o delineamento blocos casualizados, que se tornaram de uso comum em experimentos agrícolas de campo. Fisher também salientou a importância de experimentos fatoriais, argumentando que a natureza prefere responder questões propostas conjuntamente em vez de questões

isoladas. Sua contribuição mais relevante para a pesquisa experimental foi condensada em seu segundo livro, "The design of experiments", publicado em 1935.

As principais características da abordagem introduzida por Fisher são as seguintes:

- requerimento de que o próprio experimento forneça uma estimativa da variabilidade atribuível a características estranhas a que estão sujeitas as respostas aos tratamentos;
- uso da repetição para prover essa estimativa da variabilidade e da casualização para lograr sua validade;
- uso do controle local com o propósito de controlar e reduzir essa fonte de variação estranha;
- princípio de que a análise estatística dos resultados é determinada pelo modo como o experimento é conduzido; e
- conceito de experimento fatorial, ou seja, da pesquisa dos efeitos de duas ou mais características explanatórias em um único experimento, em vez da dedicação de um experimento separado para cada uma dessas características.

O trabalho de Fisher em Rothamsted teve uma extraordinária influência no desenvolvimento da metodologia da pesquisa experimental e da estatística em todo o mundo. Frank Yates (1902-1994) juntou-se à equipe de Fisher em 1931 e o sucedeu em 1933. Yates continuou a construir as idéias de Fisher, notadamente no desenvolvimento de esquemas fatoriais com confundimento e de delineamentos em blocos incompletos e reticulados, que se tornaram especialmente valiosos em experimentos de melhoramento genético de plantas e em situações em que o tamanho do bloco é necessariamente limitado. Muitas outras contribuições relevantes para a experimentação agrícola foram originadas da escola de Fisher, em Rothamsted, na década de 30, principalmente através de Frank Yates, John Wishart (1898-1956) e William Cochran (1909-1980). A variação ambiental foi reconhecida como um problema importante em experimentos agrícolas de campo de ampla abrangência espacial e temporal. O desenvolvimento de métodos estatísticos para o planejamento e a análise de tais experimentos foi iniciado na década de 30 por Yates e Cochran. A importância de experimentos complexos envolvendo rotações de culturas também originou contribuições relevantes de Yates e Cochran.

A metodologia moderna da pesquisa experimental, desenvolvida a partir dos fundamentos e idéias lançados por Fisher para a pesquisa agrícola, teve muitos contribuintes em diversos países e passou a aplicar-se aos demais ramos da ciência e da tecnologia, tais como biologia, medicina, engenharia, indústria e ciências sociais. Os desenvolvimentos científicos e tecnológicos nas diversas áreas demandaram, por sua vez, novas metodologias particulares que também se tornaram, em geral, aplicáveis às demais áreas.

Como conseqüência da origem da pesquisa experimental na agricultura, muito da terminologia ainda hoje utilizada compreende termos próprios da pesquisa agrícola. Assim, por exemplo, as designações "tratamento", "parcela" e "bloco" perderam suas conotações particulares da agricultura e são amplamente usadas na pesquisa experimental em muitas áreas da ciência.

4.3 Caracterização do Experimento

Uma pesquisa explicativa tem o objetivo de verificar uma hipótese científica referente a uma relação causal entre um conjunto de características respostas e um conjunto de características explanatórias das unidades de uma população objetivo.

O **experimento** é o método de pesquisa explicativa em que é imposta ou controlada a manifestação de uma ou mais características explanatórias das unidades da amostra.

Tipicamente, no experimento o pesquisador escolhe os níveis de uma ou mais características explanatórias e os aplica às unidades da amostra de modo controlado, de acordo com algum plano. Ademais, o controle de técnicas experimentais permite a redução eficaz do confundimento de efeitos de características explanatórias com efeitos de características estranhas.

No experimento, a manifestação de características explanatórias e de características estranhas na amostra é controlada de modo a permitir que a variação manifestada pelas características respostas seja atribuível, tão inequivocamente quanto possível, à variação inerente às características explanatórias. Por essa razão, o experimento é considerado o método de pesquisa explicativa por excelência.

Uma característica explanatória cuja manifestação nas unidades da amostra é controlada é uma **característica de tratamento**. Cada nível específico de uma característica de tratamento e cada combinação específica dos níveis de duas ou mais características de tratamento é um **tratamento**. Uma característica explanatória inerente às unidades que se manifesta fora do controle do pesquisador ou sob seu controle limitado é uma **característica intrínseca**.

O **Exemplo 4.1** provê ilustrações de característica de tratamento e característica intrínseca.

Exemplo 4.1

a) No experimento sobre a eficácia de fungicidas no controle da giberela em lavouras de trigo considerado no **Exemplo 3.19**, os níveis escolhidos de cada uma das duas características explanatórias fungicida e cultivar são atribuídos às unidades da amostra (talhões) sob o controle do pesquisador. Portanto, cultivar e fungicida são características de tratamento; cada cultivar, cada fungicida e cada combinação de um fungicida com uma cultivar é um tratamento particular. Entretanto, local e ano são características explanatórias cujos níveis são inerentes às unidades e se manifestam sem interferência do pesquisador; logo, local e ano são características intrínsecas.

b) No experimento de controle de vermes intestinais em ovinos com anti-helmínticos do **Exemplo 3.30**, os níveis escolhidos da característica explanatória anti-helmíntico são atribuídos às unidades da amostra (animais) de modo controlado. Portanto, anti-helmíntico é uma característica de tratamento e cada anti-helmíntico é um tratamento particular. Entretanto, sexo é uma característica explanatória cujos níveis são inerentes às unidades; logo, sexo é uma característica intrínseca. Por essa mesma razão, local e ano também são características intrínsecas.

O controle da atribuição dos níveis de características de tratamentos às unidades da amostra deve ser exercido através de algum processo que garanta a ausência de confundimento tendencioso dos efeitos atribuíveis a essas características com efeitos de características estranhas. Essa garantia é provida pela casualização, ou seja, algum processo objetivo de sorteio que atribua a todas as unidades da amostra a mesma chance de receber qualquer dos tratamentos. A casualização tem conseqüências relevantes para as inferências referentes a efeitos causais de características de tratamento sobre características respostas. Naturalmente, a casualização não é aplicável a características intrínsecas.

A impossibilidade de controle absoluto da manifestação de características explanatórias e de características estranhas em qualquer pesquisa científica implica que um experimento jamais pode provar a hipótese que o origina, mas apenas verificá-la. Entretanto, um experimento válido que proveja resultados que contradigam a hipótese é suficiente para rejeitá-la.

O controle exercido sobre a manifestação de características explanatórias é uma propriedade exclusiva do experimento que o distingue favoravelmente dos outros métodos de pesquisa exploratória. Entretanto, a representação da população objetivo pela amostra é uma questão crucial no experimento. Em primeiro lugar porque, comumente, a amostra não é obtida por processo de seleção aleatória das unidades da população objetivo. Esse processo de seleção é inviável porque, quando a amostra é constituída por unidades da população objetivo, usualmente pelo menos parte dessas unidades não tem existência no momento da execução do experimento, ou não é disponível ou acessível para o experimento. Assim, quando as unidades da amostra são unidades da população objetivo, elas devem ser selecionadas arbitrariamente entre as unidades existentes que são disponíveis e acessíveis. Ademais, muito freqüentemente, a unidade na amostra não corresponde à unidade na população objetivo: é uma fração ou simulação desta que é construída especialmente para a pesquisa. Por exemplo, em um experimento agrícola de campo com feijão, a unidade da amostra é um cultivo em um talhão de pequenas dimensões, enquanto a unidade da população objetivo é uma lavoura que pode abranger vários hectares; em um experimento de nutrição de suínos criados em confinamento, a unidade da amostra pode ser um leitão em um boxe, enquanto que na população objetivo é um conjunto de leitões em uma instalação mais ampla.

Nessas circunstâncias, a validade das inferências derivadas do experimento necessariamente depende de avaliação subjetiva. As inferências são válidas (isto é, não tendenciosas) para a população de unidades que possa ser considerada representada pela amostra, ou seja, para a população amostrada. A adequabilidade da extensão das inferências do experimento para a população objetivo depende da proximidade entre a população objetivo e a população amostrada, ou seja, do erro de amostragem. Ela deve ser avaliada, subjetivamente, com base na informação que possa ser obtida sobre a natureza das diferenças entre a população amostrada e a população objetivo.

Essas considerações são importantes em pesquisa tecnológica, que visa derivação de inferências para aplicação em situações reais. Elas podem não ter tanta relevância em pesquisa básica, com propósito apenas cognitivo.

O experimento é o método de pesquisa explicativa de mais ampla aplicação e tradição na pesquisa científica. Como consequência, há uma diversidade conceitual e uma variação metodológica do experimento, que origina várias classificações que são encontradas na literatura, baseadas em diferentes critérios.

Uma primeira classificação referente a experimento considera a presença ou ausência de casualização. Quanto a essa propriedade fundamental, um experimento pode ser classificado como:

- experimento aleatório ou
- experimento sistemático.

Em um **experimento aleatório** a atribuição dos tratamentos às unidades da amostra é procedida através de casualização, ou seja, de algum processo de sorteio objetivo que garanta que todas as unidades tenham igual chance de receber qualquer dos tratamentos. Em um **experimento sistemático**, os tratamentos são atribuídos às unidades da amostra de modo arbitrário e subjetivo, de modo a constituir um arranjo sistemático, aparentemente conveniente tendo em conta a variação estranha da amostra que não é controlada.

Experimentos sistemáticos apresentam inconvenientes que não ocorrem com experimentos aleatórios. Por essa razão, neste texto restringe-se consideração a experimento aleatório.

Alguns textos referem a experimento com um único tratamento e classificam experimento quanto ao número de tratamentos nas seguintes duas categorias:

- experimento absoluto e
- experimento comparativo.

Um experimento com um único tratamento é denominado **experimento absoluto**; um experimento com mais de um tratamento é um **experimento comparativo**.

Um experimento comparativo compreende pelo menos uma característica explanatória de tratamento com pelo menos dois níveis. O propósito principal de um experimento comparativo é derivar inferências referentes a comparações de tratamentos, ou seja, inferências referentes a diferenças de efeitos de tratamentos sobre características respostas. Comumente, nestes experimentos não são relevantes inferências referentes aos efeitos individuais dos tratamentos. Assim, em um experimento de fertilização do solo para o cultivo do trigo, há mais interesse nas diferenças entre os rendimentos correspondentes aos diferentes fertilizantes do que nesses rendimentos.

Nessas circunstâncias, em um experimento comparativo, como o ilustrado no parágrafo anterior, não há muita preocupação com as condições ambientais particulares sob as quais o experimento é conduzido, desde que sejam semelhantes para todos os tratamentos e razoavelmente representativas do conjunto mais geral das condições da população objetivo. Nesses experimentos é usualmente pressuposto que os resultados obtidos em um campo experimental serão aproximadamente verdadeiros para a região próxima. Essa consideração é a base para a seleção de locais para a condução de experimentos.

Por outro lado, um experimento absoluto tem como propósito inferências referentes ao efeito causal sobre variáveis respostas de um único nível de um fator experimental ou de um único nível de cada um de dois ou mais fatores experimentais. Por exemplo, o efeito de uma suplementação alimentar particular sobre os teores de proteína e gordura do leite de vacas da raça holandesa, e o efeito residual no leite de um antibiótico administrado a esses animais após 24 horas de sua administração.

Em biologia, particularmente em agricultura, experimentos comparativos são muito mais comuns e importantes. Esse texto considera exclusivamente experimentos dessa classe.

O experimento também pode ser classificado quanto a seu objetivo segundo duas categorias:

- experimento científico e
- experimento tecnológico.

Um **experimento científico** ou **experimento básico** tem propósito eminentemente cognitivo; visa o melhor entendimento da realidade. É uma pesquisa básica, que visa novo conhecimento, não necessariamente com objetivo de sua aplicação. Por outro lado, um **experimento tecnológico** visa à geração de conhecimento útil com vistas a sua aplicação prática, em busca do aumento do domínio sobre a realidade.

Observe-se que essa classificação não é tão nítida e é muitas vezes questionada, já que experimentos científicos são indispensáveis em programas de pesquisa tecnológica. A importância da distinção entre essas duas categorias de experimento decorre particularmente de suas diferenças quanto às relevâncias da consideração da população objetivo e da representação desta pela amostra.

A especificação da população objetivo é crucial em experimentos tecnológicos, que visam inferências para aplicação prática. Pode não assumir tanta relevância em

experimentos científicos. Assim, por exemplo, a definição clara da população objetivo é altamente importante nos experimentos sobre a eficácia de fungicidas no controle da giberela do trigo e a eficácia de anti-helmínticos no controle de vermes intestinais de ovinos, considerados em ilustrações anteriores **Exemplo 3.19** e **Exemplo 3.20**). Pode ser irrelevante em um experimento para pesquisa de sintomas de deficiência de potássio em plantas de arroz. Neste último caso, a pesquisa pode ser conduzida sobre uma amostra altamente homogênea quanto à composição de características estranhas, com cultivo em uma solução nutritiva e com os níveis dos diversos elementos aplicados às unidades da amostra exatamente nas quantidades definidas.

Os experimentos tecnológicos compreendem três classes:

- experimento preliminar,
- experimento crítico e
- experimento demonstrativo.

Um **experimento preliminar** tem caráter exploratório, freqüentemente compreende número elevado de tratamentos e tem como propósito gerar conhecimento que permita o planejamento de experimentos críticos, mais específicos e de precisão e exatidão mais elevadas. Um **experimento crítico** visa à geração de resultados (tecnologias) para recomendação de adoção por produtores ou outros usuários da pesquisa. Um **experimento demonstrativo** visa à verificação e demonstração da aplicabilidade prática de resultados de experimentos críticos, na situação real dos sistemas da população objetivo.

Essas classes de experimento tecnológico são ilustradas no **Exemplo 4.2**.

Exemplo 4.2

a) Um experimento preliminar de fertilização do solo para o cultivo de uma espécie em uma nova região pode contemplar um número relativamente elevado de características de tratamento (macro e micro-elementos) cada uma com dois níveis, para a identificação das características de maior impacto sobre a produção e das interações mais relevantes dessas características. Essas informações são valiosas para o planejamento de experimentos mais específicos, com hipóteses mais fundamentadas e menor número de características explanatórias.

b) Em programas de melhoramento genético de plantas, são usuais experimentos preliminares com números elevados de linhagens geradas por cruzamentos e uma ou poucas repetições. Então, as linhagens de melhor desempenho são selecionadas para inclusão em experimentos decisivos de uma segunda fase.

O experimento crítico deve ter precisão e exatidão suficientes para prover razoável segurança de detecção de diferenças reais importantes. Usualmente, as considerações da população objetivo e de sua representação pela amostra não são muito relevantes em experimentos preliminares, mas têm importância elevada em experimentos críticos.

Um experimento demonstrativo geralmente é conduzido nas próprias condições das unidades da população objetivo. São exemplos experimentos conduzidos em propriedades de agricultores e criadores.

Este texto enfocará principalmente experimentos críticos.

Experimentos tecnológicos também podem ser classificados quanto à abrangência da amostra, em duas classes:

- experimento de abrangência ampla e
- experimento de abrangência restrita.

Um **experimento de abrangência ampla** (espacial e temporal) é um experimento repetido em diversas seções do espaço e do tempo; um **experimento de abrangência restrita** é um experimento conduzido em uma única sessão do espaço e do tempo.

Experimentos científicos são freqüentemente experimentos de abrangência restrita, já que nesses experimentos a representação da população objetivo pela amostra é usualmente pouco relevante. Experimentos tecnológicos preliminares também são comumente de abrangência restrita, dado que a representatividade da amostra não é tão importante na fase preliminar de um programa de pesquisa experimental. Entretanto, em experimentos tecnológicos críticos e demonstrativos a representatividade da amostra é essencial, o que requer ampla abrangência espacial e temporal.

Observe-se que muitos textos designam de "experimento" uma pesquisa experimental conduzida em um ambiente particular (um terreno, um potreiro, um laboratório ou uma instalação). Se a pesquisa experimental abrange um conjunto de ambientes, ou seja, uma região, um conjunto de laboratórios ou de instalações em diversos períodos de um intervalo de tempo, como é o caso de experimentos regionais em agricultura, designam de "experimento" cada fração da pesquisa conduzida em um ambiente particular (local e ano particulares, no caso desses experimentos regionais). A pesquisa global que abrange toda a região e um intervalo de anos é designada "grupo de experimentos". É relevante salientar que no contexto do método científico esse "grupo de experimentos" constitui um experimento de ampla abrangência espacial e temporal; cada uma das seções particulares do espaço e do tempo em que o experimento é conduzido constitui uma sua parte. Esse fato deve ser considerado no planejamento do experimento e apropriadamente levado em conta na metodologia de análise dos resultados.

Exercícios 4.1

1. Explique o argumento de Fisher para considerar o planejamento de experimento como a atividade de mais elevada relevância na pesquisa experimental.
2. Descreva as características mais relevantes da pesquisa experimental na abordagem introduzida por Fisher.
3. Qual é o princípio fundamental da pesquisa experimental atribuído como inovação introduzida por Fisher? Qual é seu significado?
4. Comente sobre o significado da seguinte sentença atribuída a Fisher para salientar a conveniência de experimentos fatoriais: "a natureza prefere responder perguntas conjuntamente em vez de perguntas isoladas".
5. Porque o experimento é considerado o método de pesquisa explicativa por excelência?
6. Caracterize o experimento quanto ao controle exercido sobre a escolha da amostra e a manifestação de características explanatórias.
7. Qual é a implicação do controle exercido sobre a manifestação de características explanatórias para as inferências derivadas do experimento?
8. Explique porque as inferências derivadas do experimento usualmente compreendem um passo de avaliação subjetiva.
9. Explique e ilustre os significados de experimento comparativo e experimento absoluto.
10. O que caracteriza essencialmente um experimento aleatório?
11. Explique a distinção conceitual entre experimento científico e experimento tecnológico.
12. O que caracteriza a distinção entre experimento de ampla abrangência e experimento de abrangência restrita? Ilustre essas duas classes de experimento com exemplos de sua área.
13. Porque o pesquisador deve ser muito cauteloso na recomendação de resultados de um experimento para aplicação?
14. Porque experimentos tecnológicos são freqüentemente experimentos de ampla abrangência espacial e temporal?

4.4 Processo do Experimento

O experimento revela em sua plenitude a propriedade sistemática do método científico. Seu processo compreende um conjunto ordenado de etapas que toda pesquisa científica completa deve cumprir, desde sua origem até a consecução de seus objetivos. Essa seqüência de etapas é essencialmente aquela descrita na **Seção 2.4**. Aqui serão feitas considerações apenas aos aspectos que têm relevância particular na pesquisa experimental.

4.4.1 Estabelecimento do problema e formulação da hipótese

O estabelecimento do problema e a formulação da hipótese definem os objetivos do experimento. Essas decisões demandam a caracterização clara e inequívoca da população objetivo e de suas unidades. A importância dessa etapa inicial da pesquisa científica foi enfatizada na **Seção 2.4**. Cabe aqui ressaltar que falhas em uma dessas decisões implicarão que uma pesquisa bem conduzida nessas circunstâncias poderá resultar em uma solução correta para problema incorreto ou em uma solução incorreta para problema correto. Particularmente, os seguintes temas devem ser claramente definidos:

a) Propósito do experimento: O experimento visa o esclarecimento ou derivação de conhecimento para o desenvolvimento de teoria, ou o provimento de informações para uso imediato? O experimento é uma etapa preliminar de um programa de pesquisa para determinação do curso futuro dessa pesquisa, ou uma etapa que visa à tomada de decisões para aplicação prática?

b) População objetivo: A qual amplitude espacial e temporal as inferências do experimento devem ser aplicadas? Particularmente, devem ser especificados a distribuição geográfica e o intervalo de tempo (futuro) da abrangência da população objetivo.

c) Unidades da população objetivo: Qual é o nível das unidades (sistemas) que deve ser considerado? Por exemplo: a) as unidades são o conjunto dos animais em uma instalação (potreiro, boxe ou gaiola) ou um animal individual ou uma sua parte? b) as unidades são o conjunto das plantas em uma parcela (talhão de campo, canteiro ou vaso) ou uma planta individual ou uma sua parte? As características dessas unidades são as mesmas das unidades atuais ou características supostamente selecionadas ou evoluídas? Por exemplo: a) as cultivares sob comparação destinam-se a lavouras com técnicas de cultivo mais avançadas, como níveis mais elevados de adubação e controle mais intensivo de doenças e pragas? b) os antibióticos sob pesquisa destinam-se a animais selecionados segundo níveis de produtividade? c) as composições de ração destinam-se apenas a animais de um sexo e de uma faixa de idade específica?

4.4.2 Planejamento do experimento

A abordagem científica requer o planejamento do experimento, ou seja, o estabelecimento antecipado, em forma escrita, do conjunto completo das decisões e ações que devem ser tomadas e procedidas para a execução do experimento. O plano do experimento deve ser consistente com os objetivos da pesquisa determinados pelo problema e pela hipótese, e ser formulado de modo a garantir a derivação das inferências que o experimento visa estabelecer para a consecução desses objetivos.

Muito freqüentemente, a importância desta etapa é subestimada, ou seja, não são dedicados o tempo e a atenção necessária para a elaboração do plano do experimento. Esta falha é a origem de muitos experimentos que não produzem resultados úteis ou não derivam as informações que potencialmente poderiam produzir com os mesmos recursos.

Essa etapa compreende, fundamentalmente, o planejamento da amostra, o planejamento das ações e dos procedimentos para a execução do experimento, e as definições do modelo estatístico decorrente e dos procedimentos de análise estatística para a derivação de inferências.

Planejamento da amostra

O planejamento da amostra deve garantir a aptidão do experimento para a derivação das inferências que constitui o seu objetivo. Em particular, deve garantir a precisão e a exatidão apropriadas para essas inferências (**Seções 6.5.3 e 6.5.4**). A precisão e a exatidão dependem fundamentalmente do tamanho, da composição e do controle da amostra. Em experimentos básicos a precisão tem maior relevância do que a exatidão; em experimentos tecnológicos esses dois requisitos podem ser igualmente importantes.

O planejamento da amostra estabelece a composição e o relacionamento das três classes de características da amostra, ou seja, a classe das características respostas, a classe das características explanatórias e a classe das características estranhas. Esse planejamento determina, respectivamente, a **estrutura da resposta**, a **estrutura das condições experimentais** e a **estrutura das unidades**. A relação estrutural entre as duas classes de características que afetam as características respostas, ou seja, entre as características explanatórias e as características estranhas constitui a **estrutura do experimento** ou **delineamento do experimento**. A estrutura do experimento é determinada pelos objetivos do experimento e constitui a base para a derivação das inferências para a consecução desses objetivos.

O planejamento da amostra deve satisfazer alguns requisitos e princípios básicos. A estratégia para o planejamento da amostra e esses requisitos e princípios básicos são o tema do **Capítulo 6**. Os capítulos seguintes tratam dos segmentos essenciais do planejamento da amostra.

Planejamento das ações e dos procedimentos para a execução do experimento

Devem ser previstos as ações e os procedimentos que deverão ser adotados durante a condução do experimento para que os recursos necessários estejam disponíveis e sejam implementados nos momentos apropriados. Esse planejamento é necessário para minimizar ocorrências que possam implicar prejuízo para a consecução dos objetivos do experimento, especialmente a manifestação de características estranhas perturbadoras.

Definição do modelo estatístico e dos procedimentos de análise dos dados

Os procedimentos de inferência estatística requerem o estabelecimento de um modelo estatístico, ou seja, um modelo matemático que represente a relação entre as variáveis respostas e as variáveis explanatórias, e leve em conta a presença das características estranhas da amostra.

Assim, na conclusão do plano do experimento, deve ser formulado o modelo estatístico que constituirá a base para a definição dos consequentes procedimentos estatísticos apropriados para a análise dos dados com vistas à derivação das inferências objeto do experimento.

A definição desses procedimentos de análise deve, então, ser esboçada. Os recursos necessários para a execução dessas análises também devem ser previstos para garantir sua disponibilidade na etapa da análise dos dados.

4.4.3 Condução do experimento

O pesquisador deve acompanhar e conduzir o experimento cuidadosamente para assegurar a obediência ao plano preestabelecido e registrar ocorrências estranhas que possam ter influências relevantes. Particularmente, deve dispensar atenção ao delineamento experimental e à implementação das técnicas experimentais previstas para o controle experimental, de modo a evitar o surgimento de características estranhas perturbadoras, que afetem as características respostas de modo sistemático, ocasionando confundimento tendencioso com efeitos de características de tratamento.

Essa é a etapa da coleta de dados, ou seja, da mensuração e registro dos valores observados das variáveis respostas, das co-variáveis e de outras variáveis importantes, segundo estabelecido no plano do experimento. Deve ser dispensada atenção particular à precisão e à exatidão dos processos de mensuração. Também devem ser registradas ocorrências relevantes não previstas para a consideração adequada nas etapas de análise dos resultados e de elaboração das conclusões.

É importante que o registro dos dados seja seguido de uma revisão cuidadosa e de uma crítica dos dados que garanta a detecção de possíveis erros, especialmente de erros grosseiros.

4.4.4 Análise dos resultados

Devem ser empregados os métodos e procedimentos estatísticos de análise de dados apropriados aos objetivos do experimento, que sejam consistentes e coerentes com o delineamento experimental adotado e com o correspondente modelo estatístico estabelecido no plano do experimento.

Em muitas pesquisas, pode ser útil uma etapa preliminar de inspeção dos dados, através de sua descrição e resumo, e o emprego de técnicas para verificação das pressuposições estabelecidas com o modelo estatístico. Esse procedimento pode propiciar as indicações mais evidentes reveladas pelos resultados do experimento que em alguns casos podem ser importantes para a orientação referente aos procedimentos de análise estatística a adotar.

Nos últimos anos, a computação eletrônica tem se tornado uma facilidade com potencial crescente para a tarefa de análise de dados. Tais recursos, ou seja, equipamentos de diversos portes, particularmente microcomputadores e computadores pessoais, e uma grande gama de programas e "pacotes" de análise estatística, estão tornando viável o emprego de metodologias mais apropriadas para a análise de dados.

Uma parte importante do processo de análise de dados é a verificação da adequação do modelo estatístico, ou seja, o exame crítico do modelo estatístico adotado, particularmente de suas pressuposições. Os recursos de computação e o emprego de técnicas gráficas são particularmente úteis para esse propósito.

Deve ser alertado que as facilidades de recursos de computação podem induzir ao seu mau uso. É freqüente, por exemplo, o uso automático de procedimentos de análise de dados disponíveis em pacotes de análise estatística sem a verificação de sua adequabilidade, especialmente no que diz respeito às pressuposições exigidas.

Outro aspecto a considerar é a utilização de dados de experimentos para pesquisas exploratórias e estudos observacionais com propósitos de derivação de inferências fora dos objetivos dos experimentos particulares. Tais análises de dados são muito úteis para a sugestão de hipóteses a serem sujeitas a futuras pesquisas explicativas.

4.4.5 Interpretação dos resultados, elaboração das conclusões e sua divulgação

Completada a análise dos dados, o experimentador deve extrair inferências ou conclusões dos resultados. É oportuno salientar as limitações da validade de inferências estatísticas. Assim, por exemplo, o emprego de métodos estatísticos não prova que uma ou mais características explanatórias têm efeitos em um experimento particular. Ele apenas fornece orientação referente à confiabilidade e validade de tais inferências. De fato, o emprego de métodos estatísticos apropriados não permite a prova definitiva de argumentos baseados nos resultados de um experimento particular, mas permite a avaliação do erro provável de uma conclusão, ou a atribuição de um nível de confiança a uma proposição derivada dos resultados do experimento.

As inferências estatísticas devem ser interpretadas fisicamente e os significados práticos devem ser avaliados e levados em conta juntamente com a significância estatística. Em algumas situações, a significância estatística pode divergir do significado prático. Por exemplo, um experimento pode evidenciar como significativas pequenas diferenças entre tratamentos que não tenham significados práticos quando são considerados os recursos exigidos e os custos. Por outro lado, diferenças entre tratamentos não significativas podem ter significado prático, quando são levadas em conta diferenças de recursos e de custos.

A aplicação dos resultados de um experimento conduzido para pesquisa de um problema isolado usualmente requer uma avaliação conjunta com os resultados de outras ações do programa de pesquisa e com informações existentes. Ou seja, uma aproximação ao sistema real deve ser construída através de uma síntese do conhecimento avançado pela pesquisa particular com o corpo de conhecimento anterior. Dois requisitos são indispensáveis para o sucesso dessa síntese: os conhecimentos isolados devem corretos e as interações das partes do problema solucionadas separadamente devem ser levadas em conta de modo suficientemente aproximado da realidade.

Os resultados do experimento devem derivar recomendações. Essas recomendações podem incluir um ulterior conjunto de experimentos, já que a pesquisa experimental é um processo iterativo e seqüencial em que um experimento responde algumas questões e propõe outras questões.

Essa última etapa do experimento somente se conclui com a divulgação dos resultados, através de diversos meios adequados, para sua incorporação efetiva ao corpo de conhecimento científico e utilização. Considerações referentes à divulgação de resultados de pesquisa são apresentadas em textos especializados.

No presente texto, dar-se-á atenção, principalmente, ao planejamento do experimento, sem descuidar da importância do conjunto das etapas do experimento.

Em resumo: um experimento inicia-se com o estabelecimento de um problema científico e a formulação de uma hipótese científica correspondente. O problema científico e a hipótese científica definem os objetivos do experimento. A execução do experimento para a verificação da hipótese requer o estabelecimento de um plano. O plano do experimento estabelece a estrutura do experimento, ou seja, a estrutura das relações entre as características da amostra. A estrutura do experimento determina o modelo estatístico que exprime essa relação de características. O modelo estatístico é a base para a definição dos procedimentos para a análise estatística dos resultados do experimento. A partir desses resultados são extraídas as conclusões das quais são derivadas as inferências para a população objetivo.

Assim, o processo do experimento compreende uma seqüência ordenada de etapas que origina uma cadeia implicativa tal que a decisão tomada em cada etapa tem conseqüências para as etapas seguintes (**Figura 4.1**). Qualquer decisão ou ação incorreta tomada em uma etapa implica incorreção para as etapas seguintes. Isso

significa que a consecução dos objetivos de um experimento requer definições e decisões corretas em todas as suas etapas.

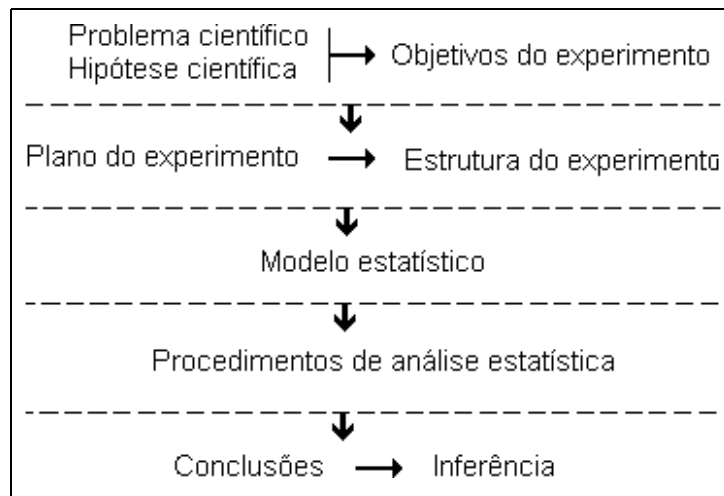


Figura 4.1. Cadeia implicativa das etapas de um experimento.

4.5 Lista de Referência para a Execução de um Experimento

Em cada uma das etapas do experimento, o pesquisador tem que tomar decisões e estabelecer ações específicas, cada uma das quais pode ser de vital importância para maximizar a chance de que o experimento seja conduzido sem imprevistos até a consecução de seus objetivos. Uma lista mais detalhada das ações e cuidados que devem ser tomados na execução de um experimento é muito útil como referência e roteiro para o planejamento e execução do experimento. Uma tal lista é a que segue.

- 1 - Obtenha uma exposição clara do problema e estabeleça a formulação do problema científico e da hipótese científica.
 - 1.1 - Identifique as unidades de interesse e a correspondente população objetivo.
 - 1.2 - Identifique o problema particular referente a um entrave do desempenho das unidades.
 - 1.3 - Esboce o problema específico dentro das limitações atuais.
 - 1.4 - Determine as relações do problema particular com os demais problemas importantes das unidades da população objetivo sob consideração.
 - 1.5 - Arbitre proposições ou conjeturas de possíveis soluções para o problema.
 - 1.6 - Escolha a conjetura mais fértil como a hipótese para o experimento, tendo em conta o impacto esperado para a melhoria do desempenho das unidades e os recursos disponíveis para a pesquisa.
 - 1.7 - Determine a relação do experimento particular com o programa geral de pesquisa referente à população objetivo.
- 2 - Colete as informações antecedentes disponíveis.
 - 2.1 - Investigue todas as fontes de informação disponíveis.
 - 2.2 - Organize e tabule os dados pertinentes ao planejamento do experimento.
- 3 - Planeje o experimento.
 - 3.1 - Realize uma reunião de todos os pesquisadores das disciplinas envolvidas na área de pesquisa.

- 3.1.1 - Revise a formulação do problema e da hipótese de pesquisa.
- 3.1.2 - Estabeleça a lista das características respostas de interesse, na ordem de sua importância, segundo os objetivos do experimento.
- 3.1.3 - Especifique as variáveis e as respectivas escalas de medida para expressão dessas características, e os correspondentes procedimentos e instrumentos a serem utilizados para mensuração.
- 3.1.4 - Estabeleça a magnitude de diferenças importantes entre valores das características respostas mais importantes.
- 3.1.5 - Escolha as características explanatórias: a) as características explanatórias diretamente relacionadas à hipótese científica, ou seja, aos objetivos do experimento, e b) outras características explanatórias relevantes para a consecução desses objetivos, principalmente as que possam afetar os efeitos causais daquelas características ou permitir a representação adequada da população objetivo.
- 3.1.6 - Determine a amplitude prática dos níveis de cada uma dessas características na população objetivo e os níveis específicos a serem adotados na amostra.
- 3.1.7 - Considere possíveis inter-relações (isto é "interações") das características explanatórias.
- 3.1.8 - Escolha as combinações dos níveis dessas características explanatórias para a amostra.
- 3.1.9 - Determine a abrangência da amostra, tendo em conta a adequada representação da população objetivo. Estabeleça a execução do experimento em diversas locais, anos, laboratórios, etc., segundo apropriado para lograr essa representação.
- 3.1.10 - Estabeleça, claramente, a caracterização da amostra e da população amostrada, ou seja, da população de unidades que possa ser considerada representada pela amostra, e a relação desta com a população objetivo.
- 3.1.11 - Considere as possíveis conseqüências da variabilidade das características estranhas da amostra para a precisão das inferências a serem derivadas do experimento.
- 3.1.12 - Liste as características estranhas que poderão se manifestar na amostra, através de seus grandes agregados; em cada um desses agregados identifique as características estranhas que possam constituir fontes de variação relevantes das variáveis respostas.
- 3.1.13 - Em cada um desses agregados identifique as características estranhas potencialmente relevantes que poderão ser controladas por técnicas experimentais sem prejuízo da representação da população objetivo. Planeje o controle dessas características.
- 3.1.14 - Entre as demais características de cada um desses agregados identifique as que poderão ser controladas através de controle local e de controle estatístico. Planeje o controle dessas características.
- 3.1.15 - Entre as características estranhas restantes de cada um dos agregados listados em 3.1.12 identifique aquelas que poderão ser controladas por casualização. Estabeleça o procedimento de casualização dessas características, ou seja, o procedimento para a atribuição aleatória dos tratamentos às unidades da amostra.
- 3.1.16 - Determine o número de repetições, tendo em conta a variabilidade das características estranhas não controladas e as diferenças importantes que o experimento visa detectar.

- 3.1.17 - Estabeleça o delineamento do experimento e faça um esboço do conseqüente modelo estatístico.
- 3.1.18 - Determine as limitações de material, instrumentos, recursos humanos, custos, orçamento e tempo.
- 3.1.19 - Considere os aspectos de relações humanas do programa.
- 3.2 - Complete o planejamento do experimento em forma preliminar e prepare sua execução.
- 3.2.1 - Prepare um documento sistemático do plano do experimento, incluindo detalhes dos procedimentos a serem seguidos.
- 3.2.2 - Proporcione a execução do experimento por etapas e a adaptação do plano de sua execução, se necessário.
- 3.2.3 - Estabeleça as técnicas experimentais a serem adotadas durante a execução do experimento.
- 3.2.4 - Desenvolva e adapte métodos, materiais, equipamentos e instrumentos necessários.
- 3.2.5 - Escolha os métodos e procedimentos de análise estatística que sejam coerentes com o modelo estatístico.
- 3.2.6 - Planeje a coleta ordenada dos dados, em particular uma planilha para o registro dos dados.
- 3.2.7 - Prepare a execução do experimento; prepare a amostra, estabeleça suas unidades e os agrupamentos determinados pelo controle local estabelecido; efetue a casualização e estabeleça a disposição dos tratamentos nas unidades experimentais através de um croqui ou lista.
- 3.3 - Revise o plano do experimento com a equipe multidisciplinar.
- 3.3.1 - Discuta, novamente, todos os detalhes do plano do experimento.
- 3.3.2 - Ajuste o plano do experimento, se necessário.
- 3.3.3 - Estabeleça os passos a serem seguidos de modo claro e explícito, definindo a participação de cada membro da equipe na execução do experimento.
- 4 - Execute o experimento.
- 4.1 - Aplique os tratamentos às unidades da amostra por processo aleatório, segundo o plano preestabelecido.
- 4.2 - Aplique os procedimentos e as técnicas experimentais definidos no plano do experimento.
- 4.3 - Acompanhe e verifique os detalhes; modifique métodos e técnicas, se necessário.
- 4.4 - Anote qualquer modificação do plano do experimento.
- 4.5 - Tome precauções na coleta dos dados; verifique a confiabilidade dos instrumentos de mensuração; verifique a correção dos dados registrados; evite transcrição de dados.
- 4.6 - Anote o progresso da execução do experimento; registre os eventos e ocorrências relevantes.
- 4.7 - Verifique a ocorrência de eventos que possam implicar em confundimento de efeitos relevantes de características estranhas com efeitos de características explanatórias; determine a conveniência e a adequabilidade da desconsideração de unidades consideravelmente afetadas por tais ocorrências.
- 5 - Analise os dados.
- 5.1 - Reduza os dados registrados à forma numérica, se necessário.

- 5.2 - Edite os dados, preferivelmente em meio magnético (disquete, disco compacto, disco rígido ou fita); calcule os dados das variáveis respostas que devam ser determinados a partir dos dados registrados diretamente, através de expressões apropriadas.
- 5.3 - Efetue uma análise exploratória e descritiva dos dados; verifique a possível presença de valores discrepantes ou aberrantes.
- 5.4 - Aplique procedimentos estatísticos apropriados para a análise dos dados, conseqüentes e coerentes com os objetivos do experimento e o modelo estatístico estabelecido pelo plano do experimento.
- 5.5 - Redija um resumo dos resultados da análise dos dados; construa tabelas e gráficos ilustrativos.
- 6 - Interprete os resultados.
 - 6.1 - Considere todos os dados observados, inclusive os não submetidos à análise detalhada.
 - 6.2 - Limite as conclusões às inferências derivadas do experimento.
 - 6.3 - Contraste as conclusões quanto às significâncias estatísticas com seus significados técnicos e práticos.
 - 6.4 - Contraste os resultados obtidos com os resultados de outras pesquisas e o conhecimento científico existente; caracterize a inserção da solução do problema inicial provida pelo experimento nas unidades da população objetivo.
 - 6.5 - Saliente as implicações das descobertas para aplicação e para ulteriores pesquisas.
 - 6.6 - Considere quaisquer limitações impostas pelas técnicas e procedimentos usados.
- 7 - Prepare o relatório.
 - 7.1 - Descreva o trabalho claramente, caracterizando os antecedentes, a relevância do problema e o significado dos resultados.
 - 7.2 - Apresente os resultados em tabelas e gráficos, em forma apropriada para seu melhor entendimento e uso.
 - 7.3 - Forneça informação suficiente para permitir ao leitor verificar os resultados e tirar suas próprias conclusões.
 - 7.4 - Limite as conclusões ao sumário objetivo da evidência provida pelo experimento, de modo que o trabalho se recomende para pronta consideração e ação decisiva.

Não é necessário que os passos sugeridos nesta lista sejam seguidos e executados nessa ordem particular. Essa lista é apenas um guia e deve ser adaptada para cada situação particular. A pesquisa científica, particularmente o experimento, não é uma atividade mecânica e rotineira. Durante o planejamento de um experimento muitas questões são levantadas, discutidas pelos pesquisadores e respondidas, originando novas idéias e conduzindo de um passo para outro de forma aparentemente casual. Ademais, é usual que com o acréscimo de novas informações e avaliações continuadas um mesmo passo seja considerado mais de uma vez.

O planejamento de um experimento é um processo que demanda tempo e pode ser estafante. Portanto, o uso de uma lista de referência, como a acima, pode ser um suplemento ao bom senso, muito útil para a maior garantia de que não sejam esquecidas considerações e particularidades importantes.

4.6 Protocolo do Experimento

O protocolo do experimento é a documentação escrita do experimento. Sua elaboração deve ser iniciada na fase do planejamento do experimento e constitui um

elemento essencial que deve anteceder a condução do experimento. A conclusão da documentação referente ao plano do experimento é a última oportunidade de uma reflexão completa antes de iniciar as ações para a condução do experimento. Depois, toda a energia do pesquisador deve concentrar-se na execução do plano estabelecido e no encaminhamento de soluções para os problemas que possam surgir.

Essa reflexão deve compreender uma revisão cuidadosa da lista de referência da **Seção 4.5**, particularmente no que diz respeito aos seguintes aspectos principais:

- razão do empreendimento do experimento e relacionamento do problema científico que o originou com o conhecimento existente sobre o tema;
- características respostas, correspondentes procedimentos de mensuração e disponibilidade dos meios necessários para a mensuração;
- características explanatórias, particularmente fatores experimentais (**Seção 5.2**), correspondentes níveis, combinações de níveis e tratamentos adicionais;
- características estranhas controladas e processos de controle;
- chances de que o experimento permita respostas às questões relacionadas com o problema científico;
- calendário da execução das ações e tarefas a executar;
- tratamento, análise e interpretação dos dados;
- destinatários dos resultados;
- distribuição das tarefas e avaliação dos custos;
- colaboração interna e externa que possa ser importante para a execução do experimento.

Em sua primeira parte o protocolo do experimento deve compreender todas as informações relevantes referentes ao plano da pesquisa. Seu conteúdo depende da área de pesquisa particular. Em geral, ele deve conter as seguintes seções principais:

- introdução ao tópico, com a descrição do racional para a pesquisa;
- especificação dos objetivos do experimento, com as especificações claras do problema e da hipótese de pesquisa;
- descrição do delineamento experimental e da razão de sua escolha;
- descrição do procedimento experimental, particularmente das técnicas experimentais a serem utilizadas; e
- descrição dos procedimentos de análise estatística dos dados a serem gerados pelo experimento.

Mais especificamente, o protocolo do experimento deve compreender os seguintes tópicos:

- Referência - Indicação do programa, projeto e subprojeto, conforme o caso, aos quais se vincula o experimento.
- Título do experimento - Designação que exprima o objetivo do experimento de modo resumido e claro. Devem ser evitadas idéias vagas e gerais. Por exemplo, um título apropriado poderia ser "Efeito da insolação sobre o brix do mosto de uva da cultivar Cabernet Franc" e não "Estudos sobre relações fisiológicas em uva".
- Problema científico - Formulação do problema de pesquisa, satisfazendo as condições estabelecidas na **Seção 2.4.1**. Devem ser explicitadas as unidades e a população objetivo. A formulação do problema de pesquisa, conjuntamente com a hipótese de pesquisa, deve caracterizar plenamente os objetivos do experimento.

- Hipótese científica - Formulação da hipótese de pesquisa que satisfaça as condições definidas na **Seção 2.4.2**. Em algumas circunstâncias, a hipótese de pesquisa pode ser complexa, ou seja, pode compreender, de fato, duas ou mais hipóteses simples. Nesse caso, é conveniente que a hipótese seja descrita analiticamente de modo a deixar explícito os objetivos do experimento.

- Material e métodos - Descrição do material experimental (**Seção 5.3**) e dos procedimentos e ações a serem adotados e implementados para a execução do experimento. Essa descrição deve ser suficientemente pormenorizada para permitir a identificação das características respostas, das características explanatórias e das características estranhas relevantes. Ela depende da área de pesquisa, mas, em geral, deve compreender os seguintes itens:

- Período de abrangência - Datas do início e do fim da execução do experimento.

- Locais e anos de execução do experimento - No caso de experimento de ampla abrangência, listagem dos anos e dos locais previstos para condução do experimento, e definição das instalações a serem utilizadas em cada um dos locais. Nesses experimentos devem ser identificados as instituições e os pesquisadores colaboradores. No caso de experimento agrícola de campo, devem ser identificados, para cada local: latitude, altitude, condições climáticas, topografia, tipo de solo, etc.

- Características respostas, variáveis escolhidas para expressá-las e correspondentes escalas de medida e processos de mensuração (**Seções 7.2, 7.3 e 7.4**) - Identificação individual e listagem de todas as variáveis respostas. No caso de variáveis intervalares ou racionais, devem ser claramente definidos: os processos de mensuração, particularmente os instrumentos de mensuração a serem utilizados, as escalas e as unidades de medida, e a precisão das medidas a serem efetuadas (ou seja, os números de algarismos significativos a serem registrados). Para variáveis nominais e ordinais, devem ser definidas as escalas de medida, os níveis de cada uma dessas variáveis, e devem ser claramente estabelecidos os critérios de avaliação a serem adotados.

- Características explanatórias e correspondentes níveis, e condições experimentais (**Seção 5.2**) - Listagem completa dos níveis (tratamentos) de cada característica de tratamento; no caso de característica quantitativa, os valores numéricos dos níveis devem ser especificados claramente através de alguma unidade de medida convencional, tal como quilograma, litro e hectare. Devem ser claramente identificadas as unidades da amostra às quais deverão ser aplicados os níveis de cada uma das características de tratamento. Em situações de mais de uma característica de tratamento e de tratamentos adicionais, as combinações de níveis e os tratamentos adicionais devem ser igualmente identificados. Características intrínsecas e seus níveis também devem ser definidos de modo claro.

- Outros materiais - Listagem e caracterização de todos os materiais específicos que devem ser utilizados e que não constituem níveis de características explanatórias, tais como cultivares, adubos, inseticidas, fungicidas, herbicidas, vacinas, antibióticos e outros medicamentos.

- Caracterização das unidades - Caracterização completa da unidade da amostra, pela especificação de suas dimensões, do número de animais ou de plantas que a constitui, de seu croqui, etc. No caso de experimento agrícola de campo, devem ser estabelecidas as dimensões de cada parcela, a forma de plantio (a lanço, em linha, etc.), a densidade de plantio, o número de plantas, as bordaduras, as distâncias entre parcelas e a disposição das parcelas no campo. No caso de mais de uma categoria de unidade experimental (**Seção 5.4**), esse fato deve ser claramente estabelecido. Em experimentos com animais, as unidades (que podem ser animais individuais, grupos de animais em um potreiro, em um boxe ou em uma gaiola) também devem ser estabelecidas e identificadas claramente.

- Técnicas experimentais a serem empregadas e executadas, e calendário de sua implementação (**Seção 9.4**) - Listagem e descrição dos procedimentos e das ações a serem executados durante a condução do experimento, desde sua instalação até a conclusão da mensuração das variáveis respostas e correspondente registro de dados. Por exemplo, tratamento de sementes, preparação do solo, capina, tratos culturais, tais como aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas, técnicas de manejo de animais, tais como aplicação de antibióticos, vermífugos, vacinas e tosquia, e procedimentos para coleta e registro de dados. Essa listagem e descrição devem ser suficientemente detalhadas para perfeita compreensão, e deve especificar o cronograma da implementação das técnicas experimentais.

- Delineamento experimental (**Seção 10.4**) - Identificação do delineamento experimental (para cada local e ano, no caso de experimento de ampla abrangência espacial e temporal). Muito freqüentemente, a identificação do delineamento é procedida pela designação clássica usual na literatura sobre delineamento de experimentos. Essa forma pode ser apropriada para experimentos simples e tradicionais, que são freqüentes na experimentação agrícola de campo. Para experimentos mais complexos ou não usuais, é mais adequada e conveniente a caracterização do experimento através da descrição detalhada do procedimento experimental. Os agrupamentos ou blocos de unidades formados por controle local devem ser claramente identificados.

- Co-variáveis - Listagem e descrição das co-variáveis que representem características estranhas relevantes da amostra que devam ser levadas em conta no modelo estatístico e na análise estatística dos resultados do experimento para propósito de controle estatístico (**Seção 5.6.3**) e das co-variáveis explanatórias (**Seção 5.8**). A caracterização dessas variáveis deve cumprir os mesmos cuidados e procedimentos descritos para as variáveis respostas.

- Croqui da amostra - Esboço da disposição espacial das unidades e dos correspondentes níveis das características explanatórias que lhes são associados. Em experimentos de ampla abrangência, esse croqui deve ser efetuado separadamente para cada seção do espaço e do tempo. Esse croqui é muito útil para orientar a instalação e o acompanhamento do experimento. Naturalmente, um croqui só tem sentido em situações em que as unidades dispõem-se espacialmente em posições fixas durante a condução do experimento. Se as unidades não se dispõem em posições fixas, como ocorre com alguns experimentos com animais, uma alternativa para o croqui é uma lista com a identificação das unidades e dos níveis das características explanatórias que lhes são associados.

- Planilha para registro dos dados - Planilha apropriada para o registro dos dados e de informações sobre ocorrências relevantes durante a condução do experimento (**Seção 9.4.8**) que deve ser anexada ao protocolo do experimento.

- Modelo estatístico e esquema dos procedimentos de análise estatística dos dados - Especificação da equação algébrica que relacione cada variável que exprime uma característica resposta importante com as variáveis que representam efeitos atribuíveis a características explanatórias, a classificações constituídas ou levadas em conta pelo controle local e a co-variáveis. O modelo estatístico deve expressar adequadamente a estrutura do experimento (**Seção 10.4**). Ele servirá de base para a definição dos procedimentos de análise estatística dos resultados do experimento. Esses procedimentos devem ser descritos de modo sumário.

- Meios e processos a serem adotados para a difusão dos resultados.

- Orçamento - Relação dos recursos financeiros necessários previstos para a execução do experimento, tais como recursos para aquisição de material e de equipamentos, contratação de mão de obra, despesas de viagens, de manutenção de equipamentos, etc.

- Colaboradores - Identificação das pessoas e instituições que participam da pesquisa, contribuindo com recursos humanos, financeiros, instalações, materiais, equipamentos e outras facilidades.

- Responsável - Nome do pesquisador responsável pelo experimento.

Outras informações relevantes podem constar da documentação do projeto a que se vincula o experimento, tais como:

- Antecedentes e justificativas - Exposição sobre a origem e a importância do problema sob pesquisa, resumo das pesquisas já efetuadas sobre o tema, com referências bibliográficas, e indicação da razão da execução do experimento.

- Objetivos e metas - Enumeração dos objetivos da pesquisa e das metas a alcançar, com a indicação dos respectivos prazos.

O protocolo do experimento deve ser continuado, nas devidas épocas, com a descrição das ocorrências relevantes durante a execução do experimento e o registro dos dados gerados. Essa documentação deve ser estendida e completada com os resultados das análises dos dados e a listagem dos relatórios e das publicações elaboradas para difusão dos resultados.

A documentação escrita e cuidadosa de todos os detalhes do experimento é uma regra elementar, mas de grande relevância. A necessidade de referência à informação anterior surge freqüentemente durante a condução do trabalho experimental. Essa documentação é especialmente importante em experimentos de ampla abrangência espacial e temporal. Ela propicia a preservação dos dados e a segurança do aproveitamento futuro das pesquisas efetuadas. Também é relevante para permitir a utilização dos dados em pesquisas exploratórias para propósitos diferentes daqueles que originaram o experimento, para a detecção de problemas de pesquisa, a indicação de hipóteses e a avaliação dos progressos das pesquisas.

4.7 Correspondência entre Objetivos, Plano e Análise do Experimento

Ao final da **Seção 4.4** foi salientada a cadeia implicativa que caracteriza o processo do experimento. De fato, há uma correspondência nos dois sentidos entre os objetivos do experimento, o delineamento do experimento e os procedimentos de análise estatística, conforme é ilustrado resumidamente pela **Figura 4.2**. Mais claramente, o planejamento para a consecução dos objetivos do experimento pode conduzir a um ou mais delineamentos alternativos. Usualmente um desses delineamentos é o mais apropriado por conciliar eficiência para as inferências objeto do experimento e praticidade. Esse é o delineamento que deve ser escolhido. Uma vez definido o delineamento do experimento, freqüentemente é relativamente fácil decidir sobre o procedimento de análise estatística apropriado.

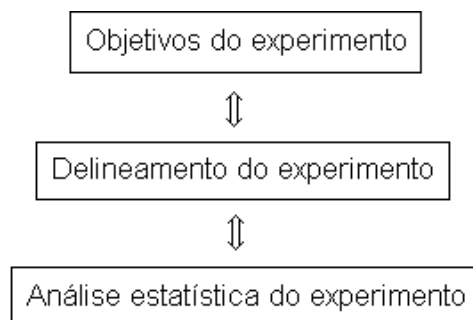


Figura 4.2. Correspondência entre objetivos, plano e análise estatística do experimento.

Reciprocamente, se o procedimento apropriado de análise estatística é conhecido, pode-se inferir o delineamento do experimento e seus objetivos. Portanto, a correspondência natural entre objetivos, delineamento e procedimento de análise estatística permite proceder de modo prospectivo ou retrospectivo entre esses três constituintes básicos do experimento.

Essa é a explicação da relativa facilidade de determinar o procedimento de análise estatística para um experimento bem planejado. A razão é que o método de análise estatística dos dados é uma consequência imediata do delineamento do experimento. Se os objetivos do experimento foram bem estabelecidos e o delineamento bem elaborado, a escolha do método de análise é essencialmente predeterminada. Por essa razão, ela deve ser especificada no protocolo do experimento (**Seção 4.6**). Embora freqüentemente seja possível considerar mais de uma versão do procedimento de análise, usualmente essas versões, se igualmente apropriadas, diferem de modo irrelevante e conduzirão a conclusões semelhantes. A ocorrência de discrepâncias deve ser tomada como alerta de que alguma pressuposição ou algum outro aspecto essencial do experimento deve ser investigado.

Por outro lado, um experimento com objetivos mal concebidos ou com falhas de planejamento, apresenta dificuldades muito freqüentemente insuperáveis para o estabelecimento do procedimento de análise estatística. Freqüentemente, o especialista em estatística é consultado após a condução do experimento ou é solicitado para efetuar a análise estatística quando os dados já estão disponíveis. Nessas situações, muito freqüentemente, são salientadas deficiências de planejamento que tornam a função do estatístico uma tentativa de salvação de tanta informação quanto seja possível. Algumas vezes essa informação poderá ser útil para os propósitos do experimento ou para o planejamento de um experimento futuro. A primeira situação ocorre menos freqüentemente; a última pode contribuir algum conhecimento sobre o procedimento de pesquisa e o material experimental que pode ser útil para o melhor planejamento de experimentos subseqüentes. Lamentavelmente, em alguns casos, o experimento apresenta falhas tão graves que não provê qualquer informação científica útil; apenas a lição da essencialidade do cuidado no planejamento do experimento e da necessidade da participação do estatístico desde o início do planejamento do experimento.

4.8 A Estatística na Pesquisa Experimental

O método experimental teve sua expressão mais forte na física e na química (**Seção 4.2**), justificada por um artigo de fé particular muito especial e muito poderoso. O argumento desse artigo de fé consistia no seguinte: se cada uma das condições para a ocorrência de um fenômeno é controlada, exceto por um estímulo particular deliberado, pode ser observada a relação exata entre a resposta ao estímulo e o estímulo. Assim, se ocorria variabilidade na resposta a um estímulo em um experimento, então o experimento não havia logrado controle absoluto das características estranhas ao estímulo, ou seja, devia ter havido variabilidade entre as unidades, variabilidade nas tentativas do estímulo particular ou variabilidade na mensuração da resposta. Então, devia ser dirigido esforço em três direções: remoção da variabilidade das unidades, desenvolvimento de técnicas para a aplicação exata do estímulo e desenvolvimento de técnicas de mensuração totalmente confiáveis. Naturalmente, esse processo implicava a construção de situações artificiais.

A eficácia desse plano geral é evidenciada pelo enorme desenvolvimento da física e da química, principalmente nos séculos 17 e 18. Entretanto, ele pressupõe a construção de unidades essencialmente idênticas com respeito à resposta.

Esse plano para a construção de conhecimento científico falha quando há impossibilidade de construir unidades idênticas, e quando o interesse reside em obter

informação sobre populações de unidades que estão disponíveis na natureza e que manifestam variabilidade, freqüentemente de uma enorme amplitude.

Um caminho para resolver esse problema foi desenvolvido por Fisher com base na idéia da casualização e na utilização do método estatístico. A abordagem de Fisher fundamenta-se na construção de um delineamento experimental. A base conceitual e a metodologia para a elaboração do delineamento experimental são desenvolvidas nos próximos Capítulos. De momento, é importante compreender que o delineamento experimental deve incorporar os princípios estatísticos necessários para a derivação de inferências válidas a partir dos dados gerados pelo experimento.

Então, estando disponíveis dados coletados com base em um delineamento experimental, eles devem ser submetidos à análise estatística. Assim, por exemplo, em um experimento de fertilização do solo para cultivo do trigo será necessário determinar as estimativas das médias desconhecidas dos rendimentos correspondentes aos diferentes fertilizantes e associar-lhes uma estimativa do erro experimental. Pode ocorrer que as diferenças entre essas estimativas sejam tão evidentes que não haja necessidade de qualquer procedimento de análise adicional. Em geral, entretanto, serão necessários procedimentos estatísticos para decisão referente à significância das diferenças observadas tendo em conta a variabilidade estranha não controlada presente na amostra. Finalmente, a abordagem estatística provê a expressão rigorosa do grau de incerteza dessas inferências indutivas que generalizam os resultados da amostra para a população amostrada.

Em suma, a base do processo de inferência estatística em experimentos comparativos é a ilustrada a seguir para a situação de uma única característica explanatória em que não há controle local:

- O experimento provê duas estimativas de variabilidade:
 - uma estimativa de variabilidade proveniente das diferenças de respostas entre as unidades com diferentes tratamentos, que compreende variabilidade atribuível aos tratamentos, se existe, e variabilidade devida a características estranhas; e
 - uma estimativa de variabilidade proveniente das diferenças de respostas entre unidades com mesmo tratamento, que consiste exclusivamente de variabilidade atribuível a características estranhas.
- Se a primeira estimativa de variabilidade revela-se consideravelmente superior à segunda, de modo que a diferença entre essas duas estimativas não possa ser atribuída apenas à própria variabilidade das características estranhas da amostra, isso significa evidência de diferenças reais entre os tratamentos.

Para experimentos mais complexos o processo para derivação de inferências estatísticas é basicamente uma extensão ou derivação desse.

Qualquer que seja a evidência fornecida pelo experimento, ou seja, em favor ou contrária à presença de diferenças de efeitos reais dos tratamentos, ela poderá ser incorreta. O método estatístico permite estabelecer o grau de incerteza, em termos de probabilidade, de qualquer das duas decisões que sejam tomadas em decorrência da evidência indicada pelo experimento, ou seja, de que os tratamentos diferem ou de que os tratamentos não diferem.

Supondo que o experimento foi corretamente conduzido, seus resultados podem ser questionados por duas razões. A primeira crítica é que a análise e a interpretação estatística dos dados pode ser incorreta. Os desenvolvimentos da metodologia estatística e dos recursos de computação tornaram disponível uma ampla gama de métodos e procedimentos estatísticos para a análise de dados que permite ao pesquisador a utilização dos métodos e procedimentos de análise apropriados para praticamente

qualquer que seja o delineamento definido para o seu experimento. Naturalmente, a utilização adequada dessas facilidades depende do conhecimento da metodologia estatística, particularmente das pressuposições requeridas para a validade de sua aplicação. Cabe ao pesquisador e ao estatístico em particular avaliar a adequabilidade dos métodos e procedimentos estatísticos para cada situação. A segunda crítica é que o delineamento definido para o experimento pode ser falho. Essas duas críticas constituem, realmente, dois aspectos do mesmo todo, pois, se o delineamento é falho, a análise e interpretação estatística também serão falhas, a menos que as falhas do delineamento sejam descobertas e possam ser levadas em conta. Como foi salientado por Fisher, o delineamento do experimento e o correspondente método de análise dos resultados são relacionados inseparavelmente. Isso significa que os procedimentos de análise estatística devem ser definidos em consonância com o delineamento adotado para o experimento.

A metodologia estatística aplicada à pesquisa experimental é usualmente designada **Estatística Experimental**. Essa área da Estatística Aplicada compreende o conjunto dos métodos estatísticos relacionados com o planejamento e a análise de experimentos.

Exercícios 4.2

1. Qual é a relação entre o objetivo do experimento e o problema científico e a correspondente hipótese científica que o origina?
2. Porque a população objetivo do experimento deve ser estabelecida na formulação do problema científico?
3. O que compreende, essencialmente, o planejamento de experimento?
4. Para um experimento particular, qual é a relação entre objetivo do experimento, plano do experimento, estrutura do experimento, modelo estatístico e procedimento de inferência estatística?
5. Identifique e explique os dois requisitos importantes a considerar no planejamento da amostra para um experimento.
6. O que compreende o planejamento da estrutura do experimento?
7. Explique o que significado do modelo estatístico de um experimento e a sua importância.
8. Porque a condução do experimento é denominada como a etapa de coleta dos dados?
9. Interprete e contraste significância estatística e significado prático das inferências derivadas de um experimento.
10. Em que etapas do experimento é mais relevante a consideração da metodologia estatística? Tais considerações são irrelevantes nas demais etapas?
11. Explique a importância de uma lista de referência para a execução de um experimento.
12. O que é o protocolo de experimento? Qual é seu propósito?
13. Explique porque a pesquisa científica, em particular a pesquisa experimental, é um empreendimento multidisciplinar.
14. Explique a base do procedimento de inferência em experimentos comparativos.

Exercícios de Revisão

1. Identifique e explique a origem da pesquisa experimental em agricultura.
2. Descreva os fatos que deram origem ao desenvolvimento do método de pesquisa experimental moderno.
3. Descreva as contribuições relevantes de Ronald Fisher que originaram o desenvolvimento da metodologia moderna da pesquisa experimental.

4. Liste e explique os significados dos três princípios básicos da pesquisa experimental segundo a metodologia moderna introduzida por Fisher.
5. Descreva três problemas de pesquisa de sua área cuja solução deva ser obtida através de pesquisa experimental.
6. Porque o experimento também é algumas vezes designado experimento controlado?
7. Ilustre uma aplicação do método de pesquisa experimental através de um exemplo de sua área.
8. Qual é a consequência da restrição na escolha da amostra para as inferências derivadas da amostra para a população objetivo?
9. Um experimento de condução da planta de pessegueiro está sendo planejado para ser conduzido por vários anos em um pomar particular de uma região. Descreva a população amostrada para esse experimento. Que alteração substancial deve ser procedida no plano desse experimento para que possam ser geradas inferências para todos os pomares dessa região?
10. Distinga os conceitos de experimento aleatório e experimento sistemático.
11. Caracterize e ilustre, através de exemplos de sua área, as distinções entre:
 - a) experimento comparativo e experimento absoluto;
 - b) experimento científico e experimento tecnológico.
12. Caracterize e ilustre: experimento preliminar, experimento crítico e experimento demonstrativo.
13. Identifique as pesquisas caracterizadas a seguir que são experimentos. Classifique os experimentos segundo as categorias da **Seção 4.3**.
 - a) Com o propósito de verificar se os predadores mais comuns em lavouras de milho são coelhos ou raposas são colocadas diversas armadilhas em pontos escolhidos de diversas lavouras de milho de uma região. São registrados os números de animais dessas duas espécies capturados em cada um desses pontos durante um intervalo de tempo pré-estabelecido.
 - b) Com o objetivo de determinar se abelhas têm preferência por cores de flores um apicultor mistura uma solução de açúcar e água e põe quantidades iguais em dois conjuntos de frascos de mesmo tamanho e de cores diferentes. Então, ele introduz abelhas em uma gaiola com os frascos e registra a frequência das visitas das abelhas a cada frasco.
 - c) Uma amostra aleatória de galinhas é dividida aleatoriamente em dois conjuntos. Às galinhas de um desses conjuntos é atribuída uma pequena quantidade de um inseticida contendo um composto de fósforo orgânico; o outro conjunto é mantido como um grupo controle. O pesquisador registra a espessura da casca de ovo produzido por cada uma das galinhas.
 - d) Foi desenvolvida uma nova droga para o tratamento de uma doença com mortalidade elevada e os pesquisadores têm a expectativa de que ela diminua a taxa de mortalidade. Para verificar essa expectativa, essa droga é administrada a dez pessoas que foram diagnosticadas como portadoras dessa doença. Após um ano, são registradas as respostas.
14. Explique e ilustre os conceitos de "experimento" e de "grupo de experimentos" utilizados em muitos textos e artigos de pesquisa experimental.
15. Quais são as grandes etapas de um experimento? Caracterize, abreviadamente, cada uma delas.
16. Explique o significado de plano de experimento.
17. Descreva e explique a cadeia implicativa das etapas básicas de um experimento.
18. Escolha um experimento em sua área e o descreva segundo a estrutura do método científico, elaborando sobre cada um de seus oito estágios (**Seção 2.4**). Comente a respeito de: a) representatividade, b) realismo, c) confiabilidade, e d) características estranhas que possam obscurecer os resultados do experimento e como essas características poderiam ser controladas.
19. Descreva, resumidamente, o conteúdo básico do protocolo de um experimento.
20. Explique a base lógica do procedimento de inferência em experimentos comparativos.

21. Explique porque a metodologia estatística é mais essencial em pesquisa em ciências biológicas do que em ciências físicas.
22. Estabeleça um conceito de Estatística Experimental.
23. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
- A metodologia moderna da pesquisa experimental foi desenvolvida a partir dos trabalhos de na Estação Experimental de Rothamstead, na Inglaterra, entre 1919 e 1933. Ele introduziu e enfatizou os três princípios básicos do delineamento de experimento: como a base para a estimação do erro experimental; como um recurso para controlar e reduzir essa estimativa e para permitir a validade dessa estimativa.
 - Uma característica explanatória cujos níveis se manifestam nas unidades da amostra sob o controle do pesquisador é denominada; seus níveis são denominados Se os níveis se manifestam nas unidades sem o controle do pesquisador ou sob seu controle limitado, a característica explanatória é denominada ; seus níveis são então designados
 - Em um experimento a atribuição dos tratamentos às unidades da amostra é procedida objetivamente através de casualização; em um experimento os tratamentos são assinalados às unidades de modo subjetivo e arbitrário. Um experimento com um único tratamento é denominado experimento ; com dois ou mais tratamentos é um experimento Um experimento tem propósito de gerar conhecimento científico útil para aplicação prática, enquanto que um experimento tem propósito eminentemente cognitivo. Um experimento é repetido em diversas posições do espaço e do tempo representativas da população objetivo.
 - O objetivo do experimento é determinado pelo e pela correspondente A abordagem científica requer o , ou seja, o estabelecimento antecipado, em forma escrita, do conjunto completo das decisões e ações que devam ser tomadas para a execução do experimento. O planejamento da estrutura do experimento compreende: o planejamento da estrutura dos três grupos de características da amostra, ou seja: e
 - O é a documentação escrita do experimento, particularmente do plano do experimento.
 - Os conjunto dos métodos estatísticos aplicáveis à pesquisa experimental é comumente denominado Esses métodos são relacionados principalmente com o e de experimentos.
24. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- () A pesquisa experimental, assim como a ciência, teve origem na Grécia.
 - () A metodologia da pesquisa experimental moderna teve origem na pesquisa agrícola.
 - () A experimentação em agricultura é muito semelhante à experimentação em física e química.
 - () A repetição, a casualização e o controle local são inovações na pesquisa experimental atribuíveis a Ronald Fisher.
 - () Delineamentos experimentais anteriores a Fisher eram sistemáticos.
 - () Através de um experimento o pesquisador pode provar uma hipótese científica.
 - () O experimento adota menos intensivamente o controle da amostra do que o estudo observacional.
 - () O experimento é o único método de pesquisa em que o pesquisador tem controle sobre a manifestação de características explanatórias na amostra.

- 9 () Um experimento aleatório distingue-se de um experimento sistemático pela forma de atribuição dos tratamentos às unidades da amostra.
- 10 () Em um experimento comparativo há interesse particular nos efeitos individuais dos tratamentos.
- 11 () Na pesquisa agrícola executam-se apenas experimentos tecnológicos.
- 12 () A precisão e exatidão do experimento são igualmente importantes tanto em experimentos científicos quanto tecnológicos.
- 13 () Na pesquisa tecnológica em agricultura a maioria dos experimentos é de abrangência restrita.
- 14 () A designação "população objetivo" aplica-se à coleção dos sistemas ou unidades que constitui o objetivo da pesquisa.
- 15 () A caracterização da população objetivo e dos correspondentes sistemas deve ser estabelecida na formulação do problema de pesquisa.
- 16 () Os objetivos do experimento são estabelecidos pelo problema científico e a correspondente hipótese científica.
- 17 () O plano do experimento garante a derivação das inferências que o experimento visa estabelecer.
- 18 () A etapa de planejamento do experimento é usualmente aquela à qual os pesquisadores dedicam mais atenção.
- 19 () As condições experimentais em um experimento são definidas pelo planejamento das características explanatórias.
- 20 () O estabelecimento do modelo estatístico é o primeiro passo da etapa de análise dos resultados do experimento.
- 21 () O experimento se conclui com a coleta dos dados.
- 22 () As questões mais relevantes referentes à metodologia estatística são definidas nas etapas de planejamento e análise dos resultados do experimento.
- 23 () O experimento deve ser conduzido segundo o estabelecido no seu plano.
- 24 () O "croqui de um experimento" é o esboço da distribuição espacial das unidades da amostra no experimento e da disposição dos tratamentos nessas unidades.
- 25 () Os resultados individuais de experimentos podem ser imediatamente recomendados para adoção na prática, independentemente de avaliação conjunta com os resultados de pesquisa anteriores.
- 26 () Resultados de experimentos devem ser divulgados apenas através de artigos técnico-científicos.
- 27 () A construção do protocolo do experimento é uma opção conveniente para o pesquisador.
- 28 () O pesquisador pode redigir o protocolo do experimento na conclusão da pesquisa.
- 29 () O pesquisador responsável por um experimento usualmente tem o domínio da metodologia estatística apropriada para o experimento.
- 30 () A Estatística Experimental é a estatística aplicada à pesquisa experimental.

Conceitos e Termos Chave

- Experimento
- Tratamento
- Experimento comparativo
- Experimento tecnológico
- Experimento crítico
- Característica explanatória de tratamento
- Experimento aleatório
- Experimento básico / científico
- Experimento preliminar
- Experimento demonstrativo

- Experimento de ampla abrangência
- Planejamento do experimento
- Modelo estatístico
- Variabilidade aleatória / casual
- Experimento de abrangência restrita
- Planejamento da estrutura do experimento
- Protocolo do experimento
- Estatística Experimental

Bibliografia

- BERNARD, C. **Introducción al estudio de la medicina experimental**. Buenos Aires: Losada, 1944. 309p.
- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2. ed. New York: John Willey, 1957. 617p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- FEDERER, W. T. **Statistics and society, data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- HEATH, D. **An introduction to experimental design and statistics for biology**. Londres: University College London, 1995. 372p.
- KEMPTHORNE, O. Why randomize? **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.1, p.1-25, 1977.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- OSTLE, B.; MALONE, L. C. **Statistics in research: basic concepts and techniques for research workers**. 4.ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 664p.
- SELWYN, M. R. **Principles of experimental design for the life sciences**. Boca Raton, Florida: CRC, 1996. 160p.
- SILVA, J. G. C. da. O Ensino da Estatística no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária. In: ENCONTRO NACIONAL DE MÉTODOS QUANTITATIVOS, III, **Anais**. Brasília, 20-22 junho, 1995. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 1995. p.89-107.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An Introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

5 Conceitos Básicos da Pesquisa Experimental

Conteúdo

5.1	Introdução.....	160
5.2	Fator Experimental e Condição Experimental	160
5.3	Material Experimental	166
5.4	Unidade Experimental.....	167
5.5	Unidade de Observação	169
5.6	Controle Experimental	173
5.6.1	Controle de técnicas experimentais.....	174
5.6.2	Controle local	175
5.6.3	Controle estatístico.....	177
5.6.4	Casualização.....	178
	Casualização na atribuição dos tratamentos.....	179
	Casualização na implementação de técnicas experimentais.....	179
5.6.5	Implicações do controle experimental.....	180
5.7	Erro Experimental e Erro de Observação.....	183
	Erro experimental.....	183
	Erro de observação.....	184
	Unidade experimental e erro experimental.....	185
5.8	Co-variável Explanatória	187
5.9	Ilustração	189
	Exercícios de Revisão	196
	Conceitos e Termos Chave.....	202
	Bibliografia.....	203

5.1 Introdução

O experimento é o método de pesquisa para a derivação de inferências referentes a relações causais entre características das unidades de uma população objetivo, ou seja: entre características que exprimem o desempenho das unidades e características cuja manifestação conveniente supostamente possa melhorar esse desempenho, na presença das demais características dessas unidades. Essas três classes de características da amostra compreendem, respectivamente, as características respostas, as características explanatórias e as características estranhas.

No experimento, o pesquisador intervém na amostra; impondo às suas unidades os níveis de uma ou mais características explanatórias e controlando a manifestação de características estranhas. O propósito do controle de características estranhas é atribuir a variação manifestada pelas características respostas de modo tão inequívoco quanto possível à variação atribuível às características explanatórias.

O reconhecimento e o planejamento apropriado dessas três classes de características e de seus relacionamentos é fundamental para a consecução dos objetivos do experimento. Esse planejamento compreende: o planejamento da resposta, o planejamento das condições experimentais, o planejamento do controle experimental e o planejamento da estrutura do experimento, ou seja, do delineamento do experimento, que são os temas dos **Capítulos 7, 8, 9 e 10**. Por conseqüência, a estrutura do experimento determina o modelo estatístico apropriado e este, por sua vez, os procedimentos de análise estatística.

Nos **Capítulos 3 e 4** foi estabelecida a caracterização do experimento e da pesquisa experimental. No presente Capítulo é formulada a base conceitual da pesquisa experimental. A compreensão dos significados precisos desses conceitos é imprescindível para o entendimento apropriado da metodologia da pesquisa experimental que é apresentada nos próximos Capítulos, para a compreensão dos fundamentos e da aplicabilidade das inferências derivadas do experimento, e a aplicação correta da metodologia estatística para essas inferências. Alguns desses conceitos não correspondem aos significados comuns das palavras que os denotam. Ademais, o entendimento correto desses conceitos depende da compreensão da realidade que eles exprimem. Por essa razão, eles são formulados progressivamente e são amplamente ilustrados.

Alguns conceitos apresentados no **Capítulo 3** são revisados e formulados no contexto do experimento, e são ilustrados mais amplamente. Assim, na **Seção 5.2**, são formulados os conceitos de fator experimental e condição experimental. As **Seções 5.3, 5.4 e 5.5** estabelecem os conceitos de material experimental, unidade experimental e unidade de observação. A **Seção 5.6** expõe os procedimentos de controle experimental. A conceituação de erro experimental e a caracterização de sua relevância para as inferências derivadas do experimento é o tema da **Seção 5.7**. Na **Seção 5.8** é introduzido o conceito de co-variável explanatória. Finalmente, a **Seção 5.9** provê ilustração mais ampla e completa desses conceitos básicos através de três exemplos. Essa ilustração proporciona oportunidade para uma visão da inter-relação desses conceitos e tem o propósito de contribuir para a melhor compreensão de seus significados práticos.

5.2 Fator Experimental e Condição Experimental

A característica explanatória típica no experimento é o fator experimental:

Um **fator experimental** é uma característica explanatória cujos níveis na amostra têm as seguintes propriedades:

- 1) são escolhidos e definidos no plano do experimento para cada unidade da amostra;
- 2) compreendem um pequeno conjunto de níveis que se repetem nessas unidades;
- 3) classificam as unidades em grupos que constituem uma partição da amostra com a propriedade de cada unidade pertencer a um grupo e nenhuma unidade pertencer a mais de um grupo; e
- 4) as relações com os níveis dos demais fatores experimentais constituem uma estrutura significativa que determina a estrutura do experimento ou delineamento experimental.

O **Exemplo 5.1** apresenta ilustrações de fator experimental.

Exemplo 5.1

As características explanatórias dos experimentos considerados no **Exemplo 3.29** são fatores experimentais:

- a) fungicida, freqüência de aplicação, local e ano, no experimento de controle da giberela em lavouras de trigo com fungicidas;
- b) anti-helmíntico, sexo, local e ano, no experimento de controle de vermes intestinais de cordeiro mamão;
- c) herbicida, no experimento de controle de invasoras em lavouras de soja;
- d) suplementação mineral, no experimento do efeito da suplementação mineral em aves poedeiras;
- e) cultivar, no experimento de comparação de cultivares de trigo.

No experimento, o pesquisador tem controle sobre a manifestação dos níveis de um ou mais fatores experimentais nas unidades da amostra.

Um fator experimental cujos níveis são assinalados às unidades da amostra por processo objetivo aleatório é um **fator experimental de tratamento**. Cada nível específico de um fator de tratamento definido para a amostra é um **tratamento**. No caso de experimento com dois ou mais fatores experimentais de tratamento, cada combinação distinta dos níveis desses fatores definida para a amostra também é um **tratamento**.

Um fator experimental de tratamento é caracterizado pelos seguintes atributos de seus níveis:

- 1) os níveis podem ser atribuídos à qualquer das unidades experimentais para o fator (**Seção 5.3**);
- 2) são atribuídos a essas unidades por processo aleatório; e
- 3) consistem de estímulos explicitamente distintos.

Muito freqüentemente, o experimento também visa derivar inferências referentes a fatores experimentais cuja manifestação na amostra não é imposta ou controlada pelo pesquisador, ou é sujeita a controle limitado.

Um fator experimental cuja manifestação é inerente às unidades da amostra e se processa fora do controle do pesquisador ou sob seu controle limitado é um **fator experimental intrínseco**.

Fatores intrínsecos distinguem-se de fatores de tratamento por não satisfazerem o primeiro e o segundo atributos destes fatores. Os níveis de um fator intrínseco não podem ser atribuídos às unidades da amostra; eles são manifestações alternativas de uma característica própria dessas unidades, fora do controle do pesquisador. Nessas circunstâncias, não são sujeitos à atribuição aleatória. Por essa razão, não é próprio estender a designação tratamento ao nível de um fator intrínseco.

Os níveis de um fator experimental e as combinações distintas dos níveis de dois ou mais fatores experimentais definidos para a amostra são denominados **condições experimentais**.

Assim, condição experimental é uma designação para cada nível e cada combinação de níveis de fatores experimentais na amostra, genérica para fatores de tratamento e fatores intrínsecos; tratamento é uma designação particular referente a fator experimental de tratamento.

Ilustrações de fator de tratamento e fator intrínseco são providas no **Exemplo 5.2** e no **Exemplo 5.3**. Esses exemplos reiteram no presente contexto de experimento as ilustrações de pesquisa explicativa apresentadas nas continuações do **Exemplo 3.19** e do **Exemplo 3.20**, na **Seção 3.4.1**.

Exemplo 5.2

No experimento sobre o controle da giberela em lavouras de trigo com fungicidas (**Exemplo 3.19**), fungicida e frequência de aplicação são fatores de tratamento, já que os níveis do fator fungicida (Mancozeb, Ciproconazole, Propiconazole e sem fungicida) e as frequências de aplicação (uma aplicação e duas aplicações) são atribuídos às unidades da amostra sob o controle do pesquisador. Cada um dos quatro níveis do fator fungicida e cada uma das duas frequências de aplicação é um tratamento particular. Também são tratamentos as combinações distintas dos 4 níveis do fator fungicida com os 2 níveis do fator frequência de aplicação. O número de combinações dos níveis desses dois fatores é $4 \times 2 = 8$. Entretanto, como as combinações do tratamento sem fungicida com as 2 frequências de aplicação são indistinguíveis, essas duas combinações constituem um mesmo tratamento. Portanto, as combinações dos níveis desses dois fatores constituem 7 tratamentos (**Figura 5.1**).

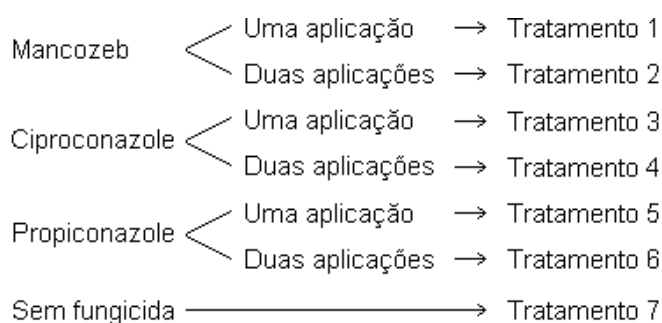


Figura 5.1. Sete tratamentos correspondentes às combinações dos 4 níveis do fator fungicida com os 2 níveis do fator frequência de aplicação, **Exemplo 5.2**.

Os outros dois fatores: local e ano são fatores intrínsecos, dado que os quatro locais são posições geográficas fixas e os três anos de condução do experimento constituem uma seqüência cuja ordem é imutável, o que significa que esses fatores se manifestam na amostra independentemente de qualquer controle da parte do pesquisador. Cada um dos quatro níveis do fator fungicida, cada uma das duas frequências de aplicação, cada um dos quatro locais, cada um dos três anos, assim como cada uma das combinações dos níveis de qualquer subconjunto desses 4 fatores experimentais, é uma condição experimental. Naturalmente, combinações de

níveis que envolvem o tratamento sem fungicida combinado com uma e duas aplicações não se distinguem e, portanto, constituem uma mesma condição experimental.

Os níveis dos fatores de tratamento, ou seja, os níveis do fator fungicida e as frequências de aplicação dos fungicidas devem ser atribuídos às unidades da amostra aleatoriamente. Entretanto, os níveis dos fatores intrínsecos, isto é, os locais e os anos não são passíveis de atribuição aleatória.

Exemplo 5.3

No experimento de controle de vermes intestinais em ovinos com anti-helmínticos (**Exemplo 3.20**), anti-helmíntico é um fator de tratamento, já que as doses 0, 20 e 40 mg/kg do anti-helmíntico Ranizole são assinaladas aos animais sob o controle do pesquisador; cada uma dessas doses do anti-helmíntico é um tratamento específico. Todavia, sexo é um fator intrínseco, pois é uma característica inerente ao animal que se manifesta fora do controle do pesquisador. Por essa mesma razão, local e ano também são fatores intrínsecos. Cada um dos níveis dos fatores experimentais anti-helmíntico, sexo, local e ano e cada combinação de níveis destes fatores é uma condição experimental.

Como anti-helmíntico é um fator de tratamento, seus níveis 0, 20 e 40 mg/kg devem ser atribuídos aleatoriamente às unidades da amostra. Entretanto, os níveis dos fatores intrínsecos sexo, local e ano não são passíveis de atribuição aleatória.

Cada fator experimental e os correspondentes níveis devem ser definidos precisamente no plano do experimento para que as inferências derivadas da amostra para a população objetivo tenham o sentido e o significado apropriados aos objetivos do experimento, que são estabelecidos pelo problema e a correspondente hipótese. Para cada fator experimental devem ser claramente especificadas a coleção dos níveis sob consideração na população objetivo e a correspondente coleção de níveis escolhidas para a amostra. Essas coleções de níveis podem não ser iguais; ou seja, os níveis na amostra podem ser a própria coleção dos níveis na população objetivo ou um subconjunto desta coleção. A coleção dos níveis na população objetivo deve ser estabelecida de forma clara e precisa, antes da escolha dos níveis para a amostra. Essa variação da relação entre os níveis do fator na amostra e na população objetivo é ilustrada no **Exemplo 5.4**.

Exemplo 5.4

a) No experimento sobre o controle da giberela em lavouras de trigo com fungicidas (**Exemplo 5.2**), os níveis do fator fungicida, ou seja, Mancozeb, Ciproconazole e Propiconazole e controle, são os mesmos na população objetivo e na amostra, assim como, também, os níveis do fator frequência de aplicação: uma e duas aplicações.

b) Entretanto, no experimento de controle de vermes intestinais em ovinos com anti-helmínticos (**Exemplo 5.3**), os níveis do fator anti-helmíntico sob consideração na população objetivo são todas as doses do intervalo compreendido entre 0 e 40 miligramas por quilograma de peso vivo do animal, enquanto que os níveis na amostra são as doses particulares escolhidas pelo pesquisador: 0, 20 e 40 mg/kg. Os níveis do fator sexo são os mesmos na população objetivo e na amostra: macho e fêmeo.

Em cada um desses dois experimentos os níveis do fator experimental local na população objetivo são a coleção conceitual dos locais da correspondente região de interesse, enquanto que os níveis na amostra são os locais particulares escolhidos, supostamente por processo aleatório, para representar essa coleção de locais. Semelhantemente, os níveis do fator ano na população objetivo são o conjunto dos anos de um intervalo de anos no futuro para os quais se aplicarão as inferências derivadas do experimento, enquanto que na amostra são os anos particulares de condução do experimento.

Outra consideração importante refere-se à relação entre os níveis aplicados às unidades da amostra e os correspondentes níveis definidos no plano do experimento. Usualmente, um nível aplicado às unidades da amostra não é exatamente aquele estabelecido no plano do experimento. É importante ter em conta que as inferências

serão válidas para os níveis efetivamente aplicados às unidades da amostra; a extensão dessas inferências para os níveis da população objetivo requer um passo de julgamento subjetivo. Para tal, é necessária a identificação e a distinção clara e precisa das três classes complementares das características da amostra: a classe das características respostas, a classe das características explanatórias (fatores experimentais) e a classe das características estranhas. Usualmente, a propriedade de que as características respostas exprimem o desempenho das unidades torna aparente e facilita a identificação dessas características. Entretanto, a separação dos fatores experimentais das características estranhas pode não ser fácil.

Exemplo 5.5

O fator cultivar em um experimento de melhoramento genético de soja compreende o conjunto das características que definem o genótipo. Essas características genéticas são transmitidas através da semente. Entretanto, outras características da semente, como pureza, sanidade e vigor, podem não ser inerentes a cultivar, ou ser parcialmente inerentes a cultivar e à origem da semente. As características da semente que não são atribuíveis a cultivar são características estranhas. Pode ser difícil ou inviável distinguir entre as características da semente, ou transmitidas pela semente, as que são inerentes a cultivar daquelas estranhas a cultivar. Conseqüentemente, usualmente, os efeitos causais do fator experimental cultivar ficam confundidos com os efeitos dessas características estranhas. Um recurso para reduzir esse confundimento é o controle da qualidade da semente e o conseqüente uso de sementes sadias, puras e de vigor uniforme. Entretanto, esse tipo de controle pode ser difícil ou inviável de aplicação a características que são parcialmente estranhas e parcialmente inerentes a cultivar.

Exemplo 5.6

Os níveis do fator anti-helmíntico do experimento de controle de vermes intestinais em ovinos (**Exemplo 5.4 b**) definidos para a amostra são as doses particulares 0, 20 e 40 mg/kg do anti-helmíntico Ranizole. Os tratamentos aplicados às unidades da amostra devem ser estas doses específicas do produto comercial Ranizole como conceitualmente definido; particularmente deve ser o produto puro e em perfeito estado. Qualquer desvio dessas condições constituirá uma característica estranha cujo efeito ficará confundido com os efeitos dos tratamentos.

Esses exemplos ilustram o fato de que, em geral, efeitos de fatores de tratamento sobre características respostas ficam confundidos com efeitos de características estranhas. Entretanto, o pesquisador pode exercer controle acentuado na escolha e na manifestação dos níveis desses fatores que lhe garanta acentuada confiança de que tal confundimento seja irrelevante.

Distintamente, em geral, efeitos de fatores intrínsecos ficam confundidos de modo relevante com efeitos de características estranhas, já que, por definição, são fatores cuja manifestação dos níveis na amostra está fora do controle do pesquisador ou sob seu controle limitado. Esse é o caso dos fatores local, ano, raça e sexo dos exemplos anteriores.

Exemplo 5.7

Em geral, o fator experimental local deve ser definido como o conjunto das características ambientais (referentes a solo, clima, flora, fauna, etc.), de técnicas de cultivo ou de criação, etc. permanentes ou próprias dos locais que constituem os níveis desse fator. Assim, a ocorrência de um evento climático, de uma doença ou de uma praga em um local particular será atribuível ao fator experimental local se for uma característica própria do local; não será atribuível a esse fator se constituir uma ocorrência fortuita. Inevitavelmente, ocorrências eventuais não relacionadas com o fator experimental local ficarão confundidas com esse fator. Técnicas de cultivo ou de criação não utilizadas uniformemente, tais como plantio abrangendo amplitude de tempo prolongada e diferenças de instalações, também poderão implicar em diferenças entre os locais não atribuíveis ao fator experimental local.

Deve ser salientado, entretanto, que não há uma dicotomia tão nítida entre fator de tratamento e fator intrínseco, já que a inviabilidade de controle absoluto na atribuição dos níveis dos fatores de tratamento às unidades da amostra, em geral, implica a presença inevitável de algum confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas.

Exemplo 5.8

a) Em um experimento de laboratório sobre deficiência de zinco em plantas, os níveis do fator experimental zinco constituídos por diferentes quantidades desse elemento químico podem ser atribuídos às unidades sob controle bastante acentuado, através do uso de substância essencialmente pura e da aplicação das quantidades definidas com elevada exatidão.

b) O fator cultivar considerado no **Exemplo 5.5** pode não ser sujeito à controle tão elevado pela inviabilidade da obtenção de sementes cujas características sejam exclusivamente atribuíveis a cultivar.

c) Os fatores experimentais sexo e raça são usualmente muito menos controláveis. Assim, em um experimento em que a unidade da amostra é constituída pelo animal e o boxe correspondente, a atribuição do sexo às unidades pode ser parcialmente controlada pela atribuição do animal ao boxe; entretanto, inevitavelmente, o sexo é inerente ao animal e não pode ser atribuído a este.

d) Os fatores experimentais ano e local, em geral, correspondem a características cuja manifestação se processa sob absoluta ausência de controle do pesquisador.

Essa discussão se justifica pela relevância do controle exercido sobre a manifestação dos níveis dos fatores experimentais para a confiabilidade e a validade de inferências referentes a relações causais. Essa questão será considerada adiante.

Exercícios 5.1

1. O que se entende por fator experimental? Ilustre com exemplos de sua área.
2. Explique e ilustre a distinção entre fator experimental de tratamento e fator experimental intrínseco. Qual é a implicação dessa distinção para as inferências derivadas do experimento?
3. Efeitos atribuíveis a um fator experimental (conforme definido no plano do experimento) ficam sempre confundidos com efeitos de características estranhas. Exemplifique esse fato com fatores experimentais em que tal confundimento assuma diferentes níveis entre extremamente baixo e extremamente elevado.
4. Mostre que o fator experimental de tratamento considerado como ilustração na resposta ao exercício 2 satisfaz os 4 atributos de um fator de tratamento listados na **Seção 5.2**, e que o fator experimental intrínseco utilizado na mesma ilustração não satisfaz todos esses atributos.
5. Em um experimento para pesquisa da eficácia de antibióticos para o controle de uma doença em ovinos machos e fêmeos da raça Corriedale, antibiótico e sexo são fatores de tratamento ou fatores intrínsecos? Justifique a resposta.
6. Explique e ilustre os conceitos de tratamento e condição experimental com exemplos de sua área.
7. Um pesquisador está planejando um experimento para a pesquisa da eficácia dos seguintes inseticidas no controle de pragas de feijoeiro: Disyston e Ekadir e Keldane. O pesquisador resolve incluir um tratamento sem inseticida para servir de termo de comparação para os inseticidas. O experimento será conduzido em uma granja de cada um dos municípios de Pelotas, Capão do Leão, Piratini, e Canguçu em três anos consecutivos, de 1998 a 2000.
 - a) Identifique os fatores experimentais e os correspondentes níveis na população objetivo e na amostra.
 - b) Quais desses fatores são fatores de tratamento? Quais são fatores intrínsecos?
 - c) Identifique e liste os tratamentos na amostra.
 - d) Identifique e liste as condições experimentais na amostra.

8. Está sendo planejado um experimento para pesquisa do efeito do hormônio estradiol sobre o desenvolvimento corporal de suínos machos das raças Duroc e Landrace em que serão aplicadas aos animais as doses de 0 mg, 20 mg e 40 mg de estradiol. O experimento será conduzido nos mesmos três municípios e anos indicados para o experimento do exercício 7. Responda as mesmas quatro questões formuladas no exercício 7 para o presente experimento.
9. Ilustre um experimento com pelo menos um fator experimental de tratamento e um fator experimental intrínseco. Especifique cada um dos fatores experimentais nesse experimento e os correspondentes níveis na população objetivo e na amostra. Identifique os tratamentos e as condições experimentais na amostra.
10. Qual é a conseqüência do confundimento inevitável do efeito de um fator experimental sobre uma característica resposta com efeitos de características estranhas? Esse confundimento é mais acentuado para um fator de tratamento ou um fator intrínseco?
11. Como pode ser controlado e diminuído o confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas referido no exercício 10?
12. Comente sobre a importância de considerar a distinção muito freqüente entre os níveis de um fator de tratamento definidos para a aplicação nas unidades da amostra e os níveis efetivamente aplicados.

5.3 Material Experimental

No experimento, a amostra recebe a designação particular de material experimental:

O **material experimental** compreende as três classes de características da amostra, ou seja, as características respostas, as características explanatórias e as características estranhas.

A caracterização do material experimental é ilustrada pelo **Exemplo 5.9** e pelo **Exemplo 5.10**.

Exemplo 5.9

Seja a pesquisa do controle da incidência de giberela em lavouras de trigo considerada no **Exemplo 3.19**. A classe das características respostas compreende as características que exprimem o desempenho das lavouras, ou seja, as características referentes ao grão e à planta. A classe das características explanatórias é constituída pelos fatores experimentais, isto é, fungicida, freqüência de aplicação, local e ano. A classe das características estranhas compreende as demais características das unidades da amostra: as características referentes à semente (genéticas e fenotípicas, tamanho, vigor, pureza, sanidade, etc.), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, etc.), às técnicas de cultivo (preparo do solo, plantio, aplicação de defensivos, etc.), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Exemplo 5.10

Considere-se a pesquisa sobre o controle de vermes intestinais em cordeiro mamão de que trata o **Exemplo 3.20**. A classe das características respostas é constituída pelas características que exprimem o desempenho dos animais e a incidência de vermes, ou seja, peso corporal e quantidade de ovos nas fezes em instantes específicos do período experimental, peso corporal ao abate, quantidade de parasitas nas vísceras do animal, e características da carcaça. A classe das características explanatórias compreende os fatores experimentais: anti-helmíntico Ranizole, sexo, local e ano. A classe das características estranhas abrange as demais características das unidades da amostra, ou seja: características referentes ao animal (genéticas e fenotípicas, sanidade, idade, peso, etc.), ao ambiente (pastagem, clima, instalações, incidências de doenças,

parasitos e predadores), ao manejo (preparo do cordeiro, aplicação de antibióticos, vacinas e parasiticidas) e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Geralmente, o material experimental não é uma amostra aleatória das unidades da população objetivo. Ele é constituído de um conjunto de unidades escolhidas de uma parte da população objetivo que é disponível ou acessível ou, mais comumente, de um conjunto de unidades construídas pelo pesquisador para representar a população objetivo. Muito freqüentemente, o material experimental corresponde à situação particular de um laboratório ou de um campo experimental, ou de um conjunto de laboratórios e campos experimentais de diversos locais e anos, por exemplo. Nessas circunstâncias, a população amostrada, da qual conceitualmente o material experimental é considerado representativo, usualmente não corresponde à população objetivo e pode distinguir-se consideravelmente desta.

Assim, a validade, ou seja, não tendenciosidade das inferências derivadas do experimento é uma questão crítica. Por definição, essas inferências são válidas para a população amostrada; serão aplicáveis à população objetivo na medida em que as características dessas duas populações se aproximarem. Por essa razão, a apreciação dos resultados de um experimento requer uma descrição clara e completa do material experimental para que a validade de sua generalização para a população objetivo possa ser apropriadamente avaliada. Essas considerações são muito importantes em experimentos tecnológicos, que visam derivar inferências para aplicações práticas. Podem não ser tão relevantes em experimentos básicos.

No experimento, o termo "unidade" tem vários significados que pelas suas importâncias devem ser distinguidos e definidos precisamente. Basicamente, distinguem-se os conceitos de unidade experimental e de unidade de observação. Esses conceitos são emitidos e ilustrados nas seções que seguem.

5.4 Unidade Experimental

A **unidade experimental para um fator de tratamento** é a maior fração do material experimental a qual é feita uma aplicação simples de um nível desse fator por um processo aleatório. A **unidade experimental para um fator intrínseco** é a maior fração do material experimental que determina ou manifesta um nível desse fator.

Genericamente, a **unidade experimental para um fator experimental** é a maior fração do material experimental à qual é alocado ou que manifesta um nível desse fator, independentemente de qualquer outra fração.

Usualmente, a unidade experimental também recebe a denominação de **parcela**, designação originada da experimentação agrícola de campo. Algumas ilustrações são apresentadas no **Exemplo 5.11**.

Exemplo 5.11

a) Em um experimento agrícola de campo para comparação de cultivares de sorgo com um único fator experimental cultivar o terreno é dividido em talhões e é efetuada a atribuição das cultivares aos talhões de modo que cada talhão recebe uma cultivar independentemente dos demais talhões. Então, a unidade experimental para o fator cultivar é o talhão, subentendido como compreendendo os níveis das características do material experimental que lhe correspondem, ou seja, a cultivar particular atribuída ao talhão; os níveis das características estranhas, referentes à semente (pureza, sanidade, germinação, etc., excetuado o que diz respeito a propriedades genéticas atribuíveis à cultivar, que constitui a condição experimental particular associada ao talhão), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças e invasoras), aos tratos culturais (semeadura, controles de doenças, pragas, etc., colheita) e aos processos de mensuração e de

registro dos dados; e os níveis das características respostas, particularmente as que se referem à produção de grãos.

b) Em um experimento para pesquisa da imunização de bovinos de corte da raça Hereford contra uma doença com dois fatores experimentais: vacina e sexo cada vacina é administrada individualmente aos animais e os animais são mantidos em um mesmo potreiro e sob as mesmas condições de manejo, alimentação, etc. Nessas circunstâncias, a unidade experimental para cada um dos dois fatores experimentais vacina e sexo é o animal, com os respectivos níveis dos fatores experimentais vacina e sexo, ou seja, a vacina particular atribuída ao animal e o sexo deste; os níveis das características estranhas que correspondem ao animal, referentes ao próprio animal (características genéticas e fenotípicas, sanidade, etc.) e ao ambiente (pastagem, clima, incidências de doenças, etc.), ao manejo (provimento de água, aplicações de vacinas, antibióticos, etc.), à mensuração e ao registro dos dados; e os níveis das características respostas, particularmente as referentes à produção de carne e ao grau de infecção da doença.

c) Em um experimento de nutrição de aves poedeiras Hisex Brown com um fator experimental: ração os animais são alojados em gaiolas e os animais em uma mesma gaiola são condicionados a receberem uma mesma ração, independentemente do que recebem os animais nas demais gaiolas. Assim, a unidade experimental para o fator ração compreende a gaiola e os animais nela instalados com os correspondentes: nível do fator experimental ração que lhes é atribuído, níveis das características estranhas referentes aos animais e ao ambiente, ao manejo; aos processos de mensuração e de registro dos dados; e níveis das características respostas, particularmente as referentes à produção de ovos e peso corporal das aves.

É usual identificar a unidade experimental através de seu componente básico. Assim, nas três situações do **Exemplo 5.11**, a unidade experimental é usualmente identificada através: a) do talhão, b) do animal e c) da gaiola. Deve-se ter sempre claro, entretanto, que a caracterização completa da unidade experimental deve compreender a descrição de todas as características estranhas, características explanatórias e características respostas da correspondente fração do material experimental.

O conjunto das unidades experimentais para um fator experimental constitui uma partição do material experimental. Essas unidades experimentais satisfazem a propriedade importante de que não têm frações do material experimental em comum e conjuntamente constituem o material experimental.

Um conjunto de unidades experimentais que não têm frações do material experimental em comum e conjuntamente constituem o material experimental é uma **formação de unidades experimentais**.

Em experimentos com mais de um fator experimental alguns desses fatores podem ter unidades experimentais comuns que constituem uma única formação de unidades experimentais. Assim, no experimento do **Exemplo 5.11 b)** o animal é a unidade experimental para os dois fatores experimentais vacina e sexo. Também pode ocorrer que a unidade experimental para um fator seja distinta da unidade experimental para outro fator. Nessas circunstâncias para cada um desses fatores experimentais há uma formação de unidades experimentais distinta. O **Exemplo 5.12** apresenta uma ilustração.

Exemplo 5.12

Seja um experimento para pesquisa do efeito da formulação da ração e da administração de anabolizante em suínos no período de crescimento e terminação para o abate e suponha-se que: a) os animais são instalados em boxes coletivos, b) os níveis do fator experimental ração são atribuídos coletivamente aos animais nos boxes, de modo que os animais em um mesmo boxe são condicionados a receberem uma mesma ração, e c) os níveis do fator experimental anabolizante são aplicados individualmente aos animais, de modo que em cada boxe cada animal recebe um anabolizante independentemente do que é atribuído aos outros animais do boxe. Nessas circunstâncias, o boxe, com as características do material experimental que lhe correspondem, constitui a unidade experimental para o fator ração, e o animal, com as

correspondentes características do material experimental, constitui a unidade experimental para o fator anabolizante.

Em situações de mais de uma formação de unidades experimentais, há uma formação de unidades experimentais de menor dimensão. As unidades experimentais dessa formação são denominadas **unidades experimentais elementares**. As unidades experimentais das demais formações são constituídas por agrupamentos das unidades experimentais elementares. Assim, no experimento do **Exemplo 5.12** há duas formações de unidades experimentais cujas unidades experimentais são os animais e os boxes, respectivamente; a unidade experimental elementar é o animal.

Para conveniência de referência, em experimentos com uma única formação de unidades experimentais essas unidades experimentais também são designadas unidades experimentais elementares.

Usualmente, a uma mesma condição experimental corresponde mais de uma unidade experimental.

Unidades experimentais distintas com uma mesma condição experimental constituem **repetições** dessa condição experimental. O número de unidades experimentais com uma mesma condição experimental é o **número de repetições** dessa condição experimental.

Em particular, unidades experimentais distintas com um mesmo tratamento constituem repetições para esse tratamento; o número dessas unidades experimentais é o número de repetições para esse tratamento.

5.5 Unidade de Observação

A **unidade de observação** é a maior fração do material experimental onde são efetuadas mensurações individuais de características respostas.

A unidade de observação para uma variável resposta é a unidade elementar do material experimental para essa variável resposta. A unidade de observação é a fração que corresponde à partição mais fina do material experimental que constitui a estrutura das unidades (**Seção 4.4.2**).

A caracterização da unidade de observação é ilustrada pelo **Exemplo 5.13**.

Exemplo 5.13

a) Em experimentos de campo com plantas graníferas, como arroz, trigo, milho e feijão, o terreno a ser utilizado é dividido em talhões onde são mensuradas as características respostas importantes. Portanto, a unidade de observação para essas características respostas é o talhão.

b) Em experimentos de controle da incidência de helmintos em animais, características respostas relevantes, como características referentes ao animal, número de ovos nas fezes e número de vermes nas vísceras, são mensuradas individualmente em cada animal. Portanto, o animal é a unidade de observação para essas características respostas.

c) Em experimentos com plantas frutíferas características referentes à produção de frutos e características relevantes da planta são mensuradas em cada planta. Logo, a unidade de observação para essas características respostas é a planta.

Em algumas situações, a unidade de observação não é a mesma para todas as características respostas. Por essa razão, ela tem de ser identificada em relação à característica resposta. O **Exemplo 5.14** provê ilustrações.

Exemplo 5.14

a) Em experimentos de nutrição animal em que os animais são dispostos em compartimentos coletivos (potreiros, boxes, gaiolas), características repostas individuais do animal, como peso corporal e características da carcaça, são usualmente mensuradas em cada um dos animais; outras características repostas, como consumo e conversão alimentar, são mensuradas globalmente para o conjunto dos animais no compartimento. Assim, a unidade de observação para peso corporal e características da carcaça é o animal, para consumo e conversão alimentar é o compartimento ou o conjunto dos animais no compartimento.

b) Em experimentos com videiras viníferas em que o pomar é dividido em talhões de duas ou mais plantas, características repostas referentes à produção de frutos (peso e número de cachos) são mensuradas individualmente em cada planta, enquanto que características referentes ao mosto e ao vinho são mensuradas em material proveniente do conjunto das plantas do talhão. Logo, a unidade de observação para peso e número de cachos é a planta, para características referentes ao mosto e ao vinho é o talhão ou o conjunto das plantas do talhão.

Uma característica resposta pode ser mensurada globalmente em toda a unidade de observação, em uma sua parte escolhida para representá-la ou em algum produto, material ou substância coletada para avaliação que pode compreender algum processo especial, como uma análise de laboratório. **Exemplo 5.15** apresenta algumas ilustrações.

Exemplo 5.15

a) Em experimentos de campo com plantas graníferas (**Exemplo 5.13 a**), em que o talhão é a unidade de observação para as características repostas importantes, algumas dessas características são mensuradas nas plantas colhidas de uma parte interna do talhão, que é usualmente designada área útil: o peso da produção de grãos é mensurado pela pesagem de todos os grãos produzidos por essas plantas; características do grão, como peso hectolitro, peso de 1000 grãos, vigor e germinação, são mensuradas em uma amostra dos grãos das plantas da área útil. Características da planta, tais como altura, número de perfilhos, número de espigas, número de espiguetas por espiga e grau de incidências de doenças, são comumente mensuradas em uma amostra das plantas da área útil.

b) Em experimentos de controle da incidência de helmintos em animais (**Exemplo 5.13 b**), em que a unidade de observação para as características repostas importantes é o animal, algumas características referentes ao animal, como peso corporal ao abate, peso de carcaça e rendimento de carcaça, são mensuradas globalmente para todo o animal. Características da carcaça são mensuradas em partes da carcaça: lombo, pernil, paleta, etc. Características referentes à composição dessas partes da carcaça são mensuradas em amostras. Características referentes à infestação de helmintos são mensuradas em fezes coletadas do animal e nas vísceras.

c) Em experimentos com videira vinífera (**Exemplo 5.14 b**), em que a planta é a unidade de observação para características repostas relevantes, características referentes à produção de uva, ou seja, peso dos cachos, número de cachos e peso médio do cacho são mensuradas globalmente para cada planta. Algumas características referentes à planta, como número de ramos, são mensuradas globalmente para toda a planta; outras são mensuradas em partes da planta: número de brotos, número de bagos e número de sementes. Características referentes ao mosto e ao vinho são mensuradas no produto derivado do conjunto dos cachos da planta: características do mosto são mensuradas em amostras do mosto e características do vinho, em amostras extraídas do vinho produzido por microvinificação.

O **Exemplo 5.15** ilustra circunstâncias em que a unidade de observação é a própria unidade experimental elementar. Entretanto, a unidade experimental pode compreender várias unidades de observação para variáveis repostas particulares. O **Exemplo 5.16** provê ilustrações de unidade de observação múltipla por unidade experimental elementar.

Exemplo 5.16

a) Em um experimento de lotação ou carga animal com animais em pastoreio com dez animais por potreiro um tratamento é uma lotação particular. Nessas circunstâncias, a unidade experimental para o fator experimental lotação é o potreiro, o conjunto de animais no potreiro e as características do material experimental que lhes correspondem. O peso corporal ao abate é mensurado para cada animal; logo, o animal é a unidade de observação para essa característica resposta. Então, a unidade experimental (potreiro) compreende dez unidades de observação (animais) para a característica resposta peso corporal ao abate.

b) Em um experimento de comparação de cultivares de pessegueiro em que cada unidade experimental é constituída por quatro plantas o peso da produção de frutos é mensurado individualmente para cada planta. Logo, cada planta é uma unidade de observação para a variável resposta peso da produção de frutos. Portanto, a unidade experimental compreende quatro unidades de observação para essa variável resposta.

Há mais de uma unidade de observação em cada unidade experimental elementar quando essa unidade experimental é dividida em partes em cada uma das quais é efetuada a mensuração de uma característica resposta. Essa situação foi ilustrada pelo **Exemplo 5.16**. Observações múltiplas também ocorrem quando são mensuradas características respostas em diversas frações da unidade experimental selecionadas por algum processo de amostragem aleatória. Nesse caso, a unidade de observação é usualmente denominada **unidade de amostragem**. A amostragem da unidade experimental elementar é utilizada em experimentos em que a característica resposta deve ser mensurada em uma pequena fração dessa unidade experimental e a seleção aleatória dessa fração se torna conveniente para a representação apropriada da unidade experimental. Esse é o caso da mensuração de características referentes à composição química em experimentos com plantas ou animais para a qual é utilizada uma pequena quantidade de material. O **Exemplo 5.17** provê ilustrações específicas de amostragem na unidade experimental elementar.

Exemplo 5.17

a) Em um experimento de adubação de pastagem de campo nativo em que a unidade experimental elementar é o potreiro, a avaliação da composição botânica é usualmente mensurada em diversas subdivisões ou partes do potreiro escolhidas por algum processo de amostragem. Em algumas situações, o material colhido é misturado para constituir uma amostra composta onde são efetuadas as mensurações. No primeiro caso, as subdivisões ou partes constituem unidades de amostragem; no segundo, há uma única unidade de amostragem.

b) Em um experimento de manejo do solo, as mensurações de características referentes a propriedades químicas e físicas do solo são usualmente efetuadas sobre uma amostra de unidades coletadas em diversas subdivisões do talhão que constitui a unidade experimental elementar; algumas mensurações são efetuadas na mistura do material coletado nessas subdivisões.

c) Em experimentos com plantas de pequeno porte, como gramíneas e leguminosas, características referentes à planta ou a suas partes, como folhas e ramos, são comumente mensuradas em uma amostra de plantas ou dessas partes da planta. Também nesse caso, em algumas situações essas plantas ou partes são misturadas para constituir uma única unidade de amostragem.

A identificação das formações de unidades experimentais e particularmente a distinção entre unidade experimental elementar e unidade de observação têm importância crucial para a validade das inferências derivadas do experimento. Depende delas a caracterização correta dos erros experimentais que afetam inferências referentes a efeitos de fatores experimentais. Esse tema será considerado na **Seção 5.7**.

Exercícios 5.2

1. Quais são as classes de características da amostra que constituem o material experimental?

2. Explique porque inferências do material experimental para a população objetivo geralmente envolvem avaliação subjetiva.
3. Explique e ilustre o conceito de unidade experimental para um fator experimental com exemplo de sua área.
4. Porque a unidade de observação depende da característica resposta? Dê um exemplo de experimento em que a unidade de observação não é única para todas as características respostas.
5. Porque a caracterização do erro experimental depende do fator experimental?
6. Dê um exemplo experimento com um fator de tratamento e um fator intrínseco e caracterize as unidades experimentais para esses fatores experimentais.
7. Ilustre com exemplo de sua área a situação de experimento com dois fatores experimentais em que a unidade experimental para um fator não é a mesma unidade experimental para o outro fator.
8. Explique e ilustre o significado de unidade experimental elementar com o experimento considerado na resposta do exercício 7.
9. Distinga e ilustre os conceitos de unidade experimental e unidade de observação através de um experimento de sua área.
10. Explique e ilustre o significado de repetição de uma condição experimental.
11. Explique porque o número de repetições para uma condição experimental pode não ser igual ao número de unidades de observação com essa condição experimental.
12. O experimento a que se refere o exercício 7 dos **Exercícios 5.1** será executado em um terreno de cada um dos 4 municípios em cada um dos 3 anos. Cada um desses terrenos será dividido em 24 talhões. Os quatro tratamentos, ou seja, os três inseticidas e o controle, serão atribuídos a esses 24 talhões de modo que cada tratamento resulte em 6 talhões.
 - a) Caracterize o material experimental.
 - b) Indique duas características respostas relevantes.
 - c) Especifique os grandes agregados das características estranhas do material experimental e, então, liste algumas características de cada um desses agregados.
 - d) Identifique a unidade de observação para cada uma das duas características respostas indicadas no item b).
 - e) Caracterize a unidade experimental para cada um dos fatores experimentais.
 - f) Indique o número de repetições para os níveis de cada um dos fatores experimentais.
13. Suponha que no experimento considerado no exercício 8 dos **Exercícios 5.1** serão utilizados, em cada granja e em cada ano, doze leitões de cada uma das duas raças. As 3 doses de estradiol serão assinaladas aos 24 animais de modo que cada dose seja aplicada em 4 fêmeas e 4 machos. Então, esses animais serão distribuídos em 24 boxes individuais. Responda para o presente experimento as mesmas questões formuladas no exercício anterior.
14. Considere os experimentos que seguem cujos objetivos são definidos resumidamente pelos respectivos títulos:
 - A - "Efeito da adubação foliar sobre a produção de uva da cultivar Itália". Fator experimental: Época de adubação; níveis: 1 - Adubação ao florescimento, 2 - adubação 3 dias após o florescimento, e 3 - adubação 6 dias após o florescimento.
 - B - "Eficácia de diluentes no descongelamento de sêmen". Fator experimental: Diluente sintético BTS ("Beltsville Thawing Solution"); níveis: 1 - 20% de BTS, 2 - 40% de BTS, 3 - 60% de BTS e 4 - 80% de BTS.
 - C - "Efeito da profundidade de semeadura sobre a emergência e o desenvolvimento da plântula de tomate". Fator experimental: Profundidade de semeadura; níveis: 1 - 0,5 cm, 2 - 2 cm, 3 - 4 cm e 4 - 6 cm.
 - D - "Controle de nematóides gastrintestinais através de anti-helmíntico sobre a produção de carne de ovelhas de descarte das raças Ideal e Romney Marsh". Fator: Anti-helmíntico HCG 8117; níveis: 1 - 0 mg/kg do animal, 2 - 2 mg/kg, 3 - 3 mg/kg e 4 - 4 mg/kg.

Responda as questões que seguem para um desses experimentos, de sua escolha.

- a) Liste as características respostas relevantes.
- b) Descreva um suposto procedimento experimental apropriado, em nível que permita a descrição das características estranhas da amostra.
- c) Especifique os agregados de características estranhas do material experimental. Liste algumas características de cada um desses agregados.
- d) Identifique as unidades de observação para as características respostas indicadas no item a) e a unidade experimental para o fator experimental definido pelo objetivo do experimento

5.6 Controle Experimental

A variação dos valores de uma característica resposta mensurados nas unidades de observação tem duas origens: características explanatórias e características estranhas. O confundimento da variação atribuível a essas duas origens dificulta a consecução dos objetivos do experimento, ou seja, inferências referentes à relação causal entre características respostas e características explanatórias. Esse confundimento origina o erro de pesquisa (**Seção 3.4.2**), que no experimento é denominado erro experimental:

A variação dos valores de uma característica resposta nas unidades de observação que é atribuível às características estranhas constitui o **erro experimental (global)**.

Assim, o erro experimental é a fração da variação dos valores observados da variável resposta que exprime o confundimento dos efeitos das características explanatórias com efeitos de características estranhas.

Geralmente, não há como discriminar, de modo absoluto, a variação atribuível às características explanatórias da variação devida a características estranhas. As variações dessas duas origens resultam inevitavelmente confundidas. Todavia esse confundimento pode ser parcialmente controlado pelo controle da amostra (**Seção 3.4.2**), que no experimento é mais comumente designado controle experimental:

O **controle experimental** é o conjunto das ações exercidas pelo pesquisador para o controle do erro experimental.

O controle experimental visa diminuir e tornar não tendencioso o confundimento dos efeitos de fatores experimentais sobre as características respostas com efeitos de características estranhas, de modo que as diferenças reveladas pelas características respostas possam ser atribuídas aos fatores experimentais de modo tão inequívoco quanto possível.

O controle experimental deve ser estabelecido no plano do experimento. Ele pode ser implementado pelos seguintes processos, que são particularizações dos processos de controle da amostra introduzidos na **Seção 3.4.2**:

- controle de técnicas experimentais,
- controle local,
- controle estatístico e
- casualização.

A utilização desses processos de controle experimental requer a identificação antecipada das características estranhas da amostra que possam se revelar importantes. De modo geral, as características estranhas da amostra são inúmeras e não podem ser completamente especificadas por identificação individual. Assim, é conveniente iniciar

com a listagem dos grandes agregados das características estranhas e, então, ir decompondo cada um desses agregados até a identificação das características potencialmente relevantes. Esse procedimento é ilustrado pelos exemplos da **Seção 3.4.1** e será ilustrado mais amplamente na **Seção 5.8**.

Em geral, a adequabilidade desses processos de controle experimental depende da população objetivo, da importância da representação da população objetivo pela amostra, das inferências a serem derivadas do experimento e das propriedades desejáveis para essas inferências. Por outro lado, a adoção desses processos depende da experiência e da visão do pesquisador, e da disponibilidade de recursos para pesquisa.

A caracterização desses processos de controle experimental é apresentada a seguir. A estratégia e as técnicas para a implementação do controle experimental são o tema do **Capítulo 9**.

5.6.1 Controle de técnicas experimentais

Na situação ideal de constância das características estranhas, a variação manifestada pelas características respostas é atribuível exclusivamente às características explanatórias. Esse princípio da causalidade (**Seção 3.4.2**) é uma pressuposição irreal. Entretanto, em geral, pode-se admitir que a amostra revelará mais nitidamente a variação das características respostas que é atribuível às características explanatórias quanto menor for a variabilidade decorrente de características estranhas. Assim, uma forma de controle experimental é o controle de técnicas experimentais (**Seção 3.4.2**):

O **controle de técnicas experimentais** é o controle físico da amostra exercido com o propósito de diminuir a variação dos valores observados de variáveis respostas que é atribuível a características estranhas.

Essa forma de controle experimental é exercida pelo emprego de técnicas experimentais com o propósito específico de eliminar ou reduzir a variabilidade de características estranhas da amostra e pela implementação controlada de técnicas experimentais requeridas para a execução do experimento.

Exemplo 5.18

Considere-se um experimento de controle de verminose de coelhos através de anti-helmínticos em que o animal é a unidade de observação e os anti-helmínticos são aplicados individualmente aos animais. O conjunto das características estranhas da amostra é constituído pelos seguintes agregados de características: características individuais dos animais (características genéticas e fenotípicas), características do ambiente (instalações, temperatura, umidade, luminosidade,..., incidências de doenças, pragas e predadores,...), características referentes ao manejo (suprimento de ração e água, aplicação de vacinas, antibióticos,...), características referentes aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Neste experimento pode ser logrado considerável controle de características estranhas com a constituição da amostra por animais com características individuais semelhantes, pelo controle ambiental de temperatura, umidade e luminosidade, pela homogeneização do suprimento de ração e água, pela aplicação de vacinas e antibióticos recomendados de modo uniforme a todos os animais, por proteção para evitar danos decorrentes de predadores, e pela adoção de procedimentos e instrumentos uniformes e precisos de mensuração e registro de dados.

Exemplo 5.19

Seja um experimento agrícola de campo para pesquisa do controle de uma praga do feijoeiro através de inseticidas em que a unidade de observação é uma porção de terreno (ou seja, um talhão). O conjunto das características estranhas da amostra compreende os seguintes agregados: características da semente (características genéticas e fenotípicas – pureza,

sanidade,...), características do ambiente (do solo, do clima, incidências de doenças, pragas, invasoras e predadores,...), características referentes a técnicas de cultivo (semeadura, fertilização do solo, controle de doenças, pragas, invasoras, predadores,...), características referentes aos processos de mensuração e de registro dos dados.

O controle de técnicas experimentais pode contribuir para o controle de características estranhas, através de: uso de sementes sadias (isentas de doenças e pragas) e com vigor homogêneo; condução do experimento em terreno plano e uniforme quanto a características do solo, tais como profundidade, fertilidade e umidade; utilização de técnicas de cultivo uniformes, como adubação uniforme e adoção de mesma data de plantio; controles homogêneos de incidências de doenças, pragas (excluídas aquelas que devam ser controladas através dos tratamentos), invasoras e predadores, através do uso de fungicidas, inseticidas, herbicidas e proteção; e com processamento uniforme da colheita e da mensuração e registro dos dados.

O controle de técnicas experimentais tem implicações para a constituição da amostra. De fato, a fração das características estranhas que é controlada por técnicas experimentais é excluída da amostra. Portanto, o controle de técnicas experimentais pode implicar em prejuízo para a representação da população objetivo pela amostra. Por essa razão, ele deve ser efetuado na medida em que não tenha essa implicação.

Exemplo 5.20

Para ilustração, considere-se o experimento do **Exemplo 5.18**. Se a população objetivo é constituída de animais heterogêneos e há indicações de que o efeito de anti-helmínticos varia com essa heterogeneidade, não é apropriado constituir a amostra por animais com características individuais homogêneas. Se na população objetivo as condições ambientais não são controladas, o controle ambiental deve ser efetuado até o ponto em que não implique distanciamento da população amostrada em relação à população objetivo. Semelhantes considerações valem para as aplicações de vacinas e antibióticos. Claramente, os controles exercidos pela homogeneização do suprimento de ração e de água, adoção de proteção para evitar danos decorrentes de predadores, e adoção de procedimentos e instrumentos uniformes e precisos de mensuração, registro e edição de dados não têm implicações para a representação da população objetivo pela amostra.

Nessas circunstâncias, são muito úteis processos de controle experimental que sejam aplicáveis para o controle de características estranhas que não é recomendável por técnicas experimentais. Os processos de controle de características estranhas que não afetam a manifestação dessas características são o controle local e o controle estatístico, que foram definidos na **Seção 3.4.2** e são rediscutidos a seguir.

5.6.2 Controle local

O **controle local** consiste na classificação das unidades de observação segundo os níveis de uma ou mais características estranhas relevantes e na assinalação dos tratamentos às unidades experimentais de modo que os efeitos dessas características estranhas não fiquem confundidos com efeitos importantes dos fatores experimentais e sejam separados do erro experimental que afeta esses efeitos.

Desse modo, a variação devida às características estranhas que são submetidas ao controle local não afeta as inferências referentes a efeitos relevantes de fatores experimentais.

Na situação mais simples, o material experimental compreende apenas uma característica estranha relevante. Então, as unidades de observação são classificadas em grupos segundo os níveis dessa característica estranha e uma coleção completa dos tratamentos é assinalada às unidades de cada um desses grupos, que recebem a designação de **blocos**. O **Exemplo 5.21** provê duas ilustrações.

Exemplo 5.21

a) Suponha-se que no experimento de controle de verminose de coelhos através de anti-helmínticos (**Exemplo 5.18**) são usados animais nascidos em um intervalo de tempo consideravelmente amplo. Nessas circunstâncias, a variação entre ninhadas pode ser uma fonte considerável da variação estranha dos valores observados de variáveis respostas relevantes, como ganho de peso, números de ovos nas fezes e número de helmintos nas vísceras. De fato, como coelhos de uma mesma ninhada são de mesma idade e têm características individuais, especialmente as genéticas, mais semelhantes do que os de ninhadas diferentes é de esperar que a variação entre coelhos dentro de cada ninhada seja consideravelmente menor do que a variação entre coelhos de ninhadas diferentes. Assim, pode ser conveniente exercer o controle local pela classificação dos coelhos segundo as ninhadas e, então, a administração dos anti-helmínticos de modo que os animais de cada ninhada recebam anti-helmínticos diferentes e cada ninhada receba uma coleção completa dos anti-helmínticos.

b) Se o experimento agrícola de campo para controle de uma praga do feijoeiro através de inseticidas (**Exemplo 5.19**) for conduzido em um terreno em declive, a variação estranha devida ao declive pode constituir uma fonte considerável da variação de valores de variáveis respostas importantes, como peso da produção de grãos e número de insetos vivos. Assim, pode ser conveniente classificar os talhões segundo as faixas de nível, pois, em geral, talhões de uma mesma faixa de nível são mais semelhantes quanto às características do solo relevantes (profundidade, textura, estrutura, fertilidade e umidade) do que talhões de faixas diferentes. Então, uma coleção completa dos inseticidas é assinalada ao conjunto dos talhões de cada faixa de nível, de modo que cada talhão de uma faixa de nível receba um diferente inseticida e cada faixa de nível contemple uma coleção completa dos inseticidas.

Devem ser consideradas para controle local as características estranhas que se espera constituam fontes de variação relevantes das características respostas. Em geral, essas características estranhas correspondem a: classificações naturais ou convenientes das unidades de observação, formações de unidades experimentais e características estranhas associadas com fatores experimentais intrínsecos.

Uma característica estranha que é levada em conta pelo controle local é denominada **fator de unidade**. Os **níveis** desse fator de unidade são os níveis dessa característica estranha.

Um fator de unidade deve satisfazer propriedades semelhantes àquelas requeridas de fator experimental (**Seção 5.2**).

O controle local de uma característica estranha é eficiente quando os níveis dessa característica classificam as unidades de observação em grupos de unidades de tal modo que a variação entre esses grupos seja consideravelmente maior do que a variação dentro de grupos.

A utilização eficaz do controle local depende do conhecimento das características estranhas relevantes do material experimental. Em experimentos de ampla abrangência, em geral, as características estranhas mais relevantes referem-se à distribuição das unidades de observação no espaço e no tempo. Nessas circunstâncias, o controle local deve considerar a classificação das unidades de observação nessas duas dimensões, constituindo duas formas de classificação, uma em cada uma dessas duas dimensões. Nesses experimentos, muito freqüentemente, podem ser identificadas características estranhas relevantes em cada uma das seções do espaço e do tempo que demandem controle local adicional. Assim, por exemplo, se o experimento considerado no **Exemplo 5.21 b)** é repetido em diversos locais e em mais de um ano, o controle local deve constituir duas classificações das unidades: uma classificação segundo a distribuição das unidades entre os locais e a outra segundo a distribuição das unidades entre os anos; ademais, deve considerar a classificação segundo as faixas de nível em cada ano e local.

Experimentos de abrangência restrita, ou seja, experimentos conduzidos em uma única seção do espaço e do tempo, usualmente requerem controle local da variação devida a características estranhas que correspondem a classificação das unidades segundo suas similaridades espaciais, temporais, genéticas e devidas a outras propriedades relevantes. Assim, se o experimento do **Exemplo 5.21** a) é conduzido em uma única instalação e em um único intervalo de tempo, pode ser requerido o controle local que considere a classificação dos animais segundo as ninhadas. O controle local também é freqüentemente requerido mesmo em experimentos conduzidos em ambientes controlados. Esse tópico será tratado mais amplamente na **Seção 9.5**.

5.6.3 Controle estatístico

O segundo processo de controle experimental que não afeta a manifestação de características estranhas é o controle estatístico:

O **controle estatístico** consiste no registro dos valores observados de uma ou mais variáveis que exprimam características estranhas relevantes da amostra e sua utilização para o ajustamento apropriado de valores observados de variáveis respostas pela eliminação da variação atribuível a essas características estranhas.

O **Exemplo 5.22** provê duas ilustrações de controle estatístico.

Exemplo 5.22

a) Em um experimento de nutrição animal em que os animais apresentam diferenças apreciáveis de peso corporal inicial pode ser apropriado o controle estatístico do efeito dessa característica estranha sobre o peso corporal ao abate. O controle estatístico é procedido pelo registro do peso inicial dos animais e a correção ou ajuste do peso ao abate para levar em conta a variação do peso inicial. Dessa forma, o controle estatístico pode permitir separar da variação do peso ao abate uma fração considerável dessa variação que seja atribuível ao peso inicial dos animais.

b) Em um experimento de fertilização do solo para o cultivo do amendoim o peso da produção pode ser afetado de modo relevante pelo estande final, ou seja, pelo número de plantas que produzem por parcela. Nessas circunstâncias, o controle estatístico da variação devida ao estande final pode lograr uma redução substancial do confundimento que possa resultar da variação devida ao número de plantas por parcela.

As variáveis estranhas consideradas para o controle estatístico são comumente denominadas **co-variáveis estranhas**. Esse processo de controle experimental é efetivado através do procedimento de análise estatística denominado **análise de co-variação**.

Uma co-variável estranha tem os mesmos atributos de co-variável explanatória (**Seção 5.8**). Entretanto, sua função em inferências sobre a relação causal entre características respostas e características explanatórias é distinta daquela descrita para co-variável explanatória. A co-variável estranha não é de interesse nessas inferências. Seu papel é simplesmente prover informação sobre a variação atribuível à característica que ela exprime para propósito de controle experimental.

O controle estatístico é menos aplicável que o controle local e em algumas situações é adotado complementarmente ao controle local. Ademais, quando apropriado, usualmente é aplicável apenas a uma ou poucas variáveis respostas. Por outro lado, o controle estatístico não é aplicável para características estranhas que possam ser afetadas por efeitos de tratamentos, pois nesse caso estaria introduzindo confundimento com efeitos de tratamentos. Essas circunstâncias são ilustradas pelo **Exemplo 5.23**.

Exemplo 5.23

a) Suponha-se que no experimento de controle de verminose de coelhos com anti-helmínticos (**Exemplo 5.18, Exemplo 5.21 a**) seja esperado que as diferenças de pesos dos coelhos de uma mesma ninhada possam afetar consideravelmente a variação dos valores observados de variáveis respostas importantes, como o peso corporal final. Nesse caso, pode ser conveniente o controle estatístico desta característica estranha para essas variáveis respostas, adicionalmente ao controle local da ninhada. Então, é efetuado o registro do peso inicial dos animais que é utilizado como co-variável para o ajustamento do peso final através da análise da co-variação. Observe-se que o efeito do peso inicial sobre o peso final pode não ser relevante, se o intervalo entre as mensurações desses pesos for relativamente amplo. Por outro lado, a variação do peso corporal inicial pode não afetar de modo relevante outras características respostas, tais como número de ovos nas fazes e número de vermes nas vísceras do animal. Nesses casos o controle estatístico é desnecessário ou não tem sentido.

b) Se no experimento de controle de uma praga do feijoeiro com inseticidas (**Exemplo 5.19, Exemplo 5.21 b**) o estande final for heterogêneo, mas não for afetado por efeitos dos tratamentos (ou seja, dos inseticidas), pode ser conveniente controlar o efeito do estande final sobre o peso da produção através do controle estatístico, complementarmente ao controle local. Vale aqui observação semelhante àquela do exemplo anterior: o controle estatístico somente é aplicável para variável resposta que seja afetada de modo considerável pela variação de estande. Por exemplo, pode ocorrer uma compensação de modo que as plantas de talhões com estande mais baixo tendam a desenvolver-se mais e ter produções individuais mais elevadas. Nesse caso, o ajustamento para a variação de estande se torna desnecessária ou não tem sentido.

O controle estatístico se baseia em uma relação entre a variável resposta e a co-variável estranha semelhante àquela referida para co-variável explicativa (**Seção 5.8**). Muito freqüentemente essa relação também é pressuposta linear. Assim, o controle estatístico é apropriado se tal relação existe. A adequabilidade do controle estatístico pode ser verificada através de uma análise estatística preliminar apropriada para testar a relação que é postulada.

As adoções de controle local e de controle estatístico têm conseqüências restritivas. Esses processos de controle experimental impõem perda de informação referente ao erro experimental. A compreensão dessa implicação somente pode ser adquirida com o conhecimento dos procedimentos de análise estatística que implementam esses processos de controle experimental.

Assim, de modo geral, apenas uma ou poucas características estranhas da amostra, ou um ou poucos agregados dessas características, pode ser controlado por controle local e por controle estatístico.

Os efeitos de características estranhas sobre características respostas que não são controlados por controle de técnicas experimentais, por controle local e por controle estatístico resultam confundidos com efeitos atribuíveis aos fatores experimentais. Se aqueles efeitos forem relevantes, a implicação resultante será a tendenciosidade das inferências referentes a relações causais entre características respostas e fatores experimentais. O recurso para evitar tal tendenciosidade é a casualização.

5.6.4 Casualização

A casualização é o processo de controle experimental para tornar não tendencioso o confundimento dos efeitos de características estranhas não controladas por controle de técnicas experimentais, controle local e controle estatístico com os efeitos dos fatores experimentais. Esse propósito é logrado pela casualização dos níveis dessas características estranhas entre os níveis dos fatores experimentais.

A casualização é aplicável na atribuição dos níveis de fatores de tratamentos às correspondentes unidades experimentais e na implementação de técnicas experimentais que possam originar confundimento com efeitos de tratamentos (**Seção 3.4.2**).

Casualização na atribuição dos tratamentos

A **casualização na atribuição dos tratamentos** é o processo de assinalação aleatória dos níveis de fatores de tratamento às respectivas unidades experimentais através de procedimento objetivo de sorteio que atribua a todas as unidades experimentais para cada um desses fatores de tratamento a mesma chance de receber qualquer dos correspondentes tratamentos.

Assim, a casualização dos tratamentos estabelece uma associação aleatória entre tratamentos e unidades experimentais. Equivalentemente, a casualização pode ser conceituada como a assinalação aleatória das unidades experimentais aos tratamentos. Embora na prática a casualização seja procedida pela atribuição aleatória dos tratamentos às unidades experimentais, sob o ponto de vista conceitual é mais conveniente pensá-la como a assinalação das unidades experimentais aos tratamentos.

Como conseqüência da casualização, os tratamentos têm igual chance de serem favorecidos ou desfavorecidos pelas características estranhas afetadas pela casualização, ou seja, pelas características estranhas casualizadas. Desse modo, a variação devida às características estranhas casualizadas não afeta tendenciosamente os efeitos dos tratamentos.

Em um experimento em que é exercido o controle local, o procedimento de casualização deve ser restrito de modo a garantir a disposição dos tratamentos determinada pelo controle local. Na situação de controle local mais simples, ou seja, em que há apenas uma classificação relevante das unidades de observação levada em conta pelo controle local, a casualização é procedida dentro de cada grupo de unidades de observação constituído pelo controle local, separadamente e independentemente para cada grupo.

Exemplo 5.24

a) Considere-se o experimento de controle de verminose de coelhos com anti-helmínticos (**Exemplo 5.18**), com o controle local das características estranhas associadas à ninhada. Nessas circunstâncias, os níveis do fator anti-helmíntico devem ser atribuídos aleatoriamente aos animais de cada uma das ninhadas, repetindo-se o processo de casualização separada e independentemente para cada ninhada. Observe-se que nesse caso o número de coelhos de cada ninhada utilizados no experimento deve ser igual ao número dos níveis do fator anti-helmíntico na amostra. Com esse processo de casualização, resultam casualizadas todas as características individuais dos animais, excetuadas aquelas referentes à ninhada.

b) No experimento de controle de uma praga do feijoeiro com inseticidas (**Exemplo 5.19**) com o controle local da variação entre faixas de nível, os tratamentos, ou seja, os níveis do fator inseticida, devem ser atribuídos aleatoriamente a cada uma das faixas, separada e independentemente, de modo que em cada faixa resulte uma coleção completa desses tratamentos. Para tal, o número de talhões de cada um das faixas de nível deve ser igual ao número de tratamentos.

Observe-se que apenas fatores de tratamento podem e devem ser submetidos a casualização. Fatores intrínsecos não são sujeitos a casualização ou são sujeitos a casualização parcial que pode não abranger alguma característica estranha relevante. Como conseqüência, efeitos de fatores intrínsecos podem resultar confundidos tendenciosamente com efeitos de características estranhas.

Casualização na implementação de técnicas experimentais

A casualização é um processo de controle experimental conveniente para a determinação da ordem de implementação de técnicas experimentais nas unidades de observação, quando a ordem possa ter efeitos relevantes sobre características respostas:

A **casualização na implementação de uma técnica experimental** compreende o estabelecimento de uma ordem aleatória de implementação dessa técnica experimental nas unidades de observação, determinada por algum procedimento objetivo de sorteio que atribua a todas as unidades de observação igual chance de ser favorecida ou desfavorecida.

Situações de casualização na implementação de técnicas experimentais são ilustradas pelo **Exemplo 5.25**.

Exemplo 5.25

a) Em um experimento com sorgo, a ordem da aplicação de uma técnica de cultivo, como a semeadura, a aplicação de inseticida, de fungicida e de herbicida, e a colheita, pode afetar a produção de grãos.

b) Em um experimento com ovinos, a ordem de aplicação de uma técnica de manejo, como a tosquia, pode afetar o ganho de peso corporal e a produção de lã.

Esses efeitos podem ser relevantes quando a implementação da técnica experimental requer intervalo de tempo considerável, ou eventualmente estende-se por tempo prolongado.

5.6.5 Implicações do controle experimental

O controle de técnicas experimentais permite tornar constante ou reduzir a variabilidade de características estranhas do material experimental. Assim, esse procedimento de controle experimental tem implicação sobre a constituição da amostra. Portanto, como salientado anteriormente, o controle de técnicas experimentais tem limitações; ele pode ser implementado para a redução da variação dos valores observados de variáveis respostas devidas a características estranhas da amostra que não tenha implicação para a representação da população objetivo.

O controle local e o controle estatístico não afetam a constituição da amostra. Esses procedimentos de controle experimental permitem separar da variação dos valores observados da variável resposta que é atribuível a efeitos de fatores experimentais e do erro experimental que afeta inferências referentes a esses efeitos a parte da variação que é atribuível às características estranhas controladas. Dessa forma a variação devida a fatores experimentais, se existente, torna-se mais nítida. Entretanto, o controle local e o controle estatístico também têm limitação: eles implicam perda de informação sobre o erro experimental, o que restringe suas aplicabilidades a um número reduzido de características estranhas.

Observe-se que, geralmente, o controle de técnicas experimentais, o controle local e o controle estatístico efetuam o controle parcial da variabilidade da variável resposta que é atribuível às características estranhas controladas que são efetivamente controladas. Assim, por exemplo, o controle ambiental da temperatura em uma casa de vegetação poderá reduzir consideravelmente a variabilidade da resposta que é atribuível a essa característica, mas não a tornará constante; o controle local da idade de animais através do agrupamento dos animais em grupos de animais de idades próximas poderá lograr variação reduzida da resposta devida à idade dentro de cada grupo, mas alguma fração da variação atribuível à idade permanecerá entre os animais dentro de cada grupo. Semelhantemente, o controle estatístico do estande de plantas poderá lograr substancial redução da variabilidade da produção de grãos que é atribuível ao estande; entretanto, alguma variabilidade atribuível a estande permanecerá não controlada.

A casualização não afeta a constituição da amostra e nem separa da variação dos valores da variável resposta e do erro experimental qualquer variação atribuível a características estranhas. A casualização permite que o confundimento dos efeitos de tratamento com efeitos de características estranhas que não foi controlado por aqueles

outros processos de controle experimental seja não tendencioso. A ausência de tendenciosidade possibilita que possa ser logicamente inferido que uma diferença considerável das respostas a dois tratamentos, por exemplo, seja consequência de diferença real entre os efeitos desses tratamentos.

A **Tabela 5.1** apresenta um resumo das implicações dos procedimentos de controle experimental para a constituição da amostra e para o erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais.

Tabela 5.1. Implicações dos procedimentos de controle experimental para a constituição da amostra e o erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais.

Procedimento	Constituição da amostra	Erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais	
		Grandeza	Não tendenciosidade
Controle de técnicas experimentais	Afeta	Afeta	Afeta
Controle local	Não afeta	Afeta	Não afeta
Controle estatístico	Não afeta	Afeta	Não afeta
Casualização	Não afeta	Não afeta	Afeta

Observe-se que, como o controle de técnicas experimentais molda a amostra, a fração das características estranhas assim controlada é excluída do conjunto das características estranhas que constituem a amostra. Assim, a amostra compreende, de fato, as três seguintes classes de características:

- características respostas,
- características explanatórias e
- características estranhas, excluídas as características controladas por técnicas experimentais.

O pesquisador deve utilizar o controle de técnicas experimentais para procurar excluir da amostra todas as características estranhas relevantes que possam ser submetidas a esse processo de controle experimental. As características estranhas relevantes remanescentes na amostra devem ser controladas por controle local ou por controle estatístico. As características estranhas controladas por esses dois processos de controle experimental constituem a classe das **características estranhas controladas**. Idealmente, as demais características estranhas da amostra devem ser efetiva e operacionalmente casualizadas, constituindo a classe das **características estranhas casualizadas**. Em situações reais, entretanto, muitas características estranhas não são sujeitas a esses processos de controle experimental, ou seja, a controle local, controle estatístico e casualização. Essas características constituem a classe das **características estranhas potencialmente perturbadoras**.

Assim, segundo os processos de controle experimental que as afetam, as características estranhas da amostra são classificadas em três subclasses:

- características estranhas controladas,
- características estranhas casualizadas e
- características estranhas potencialmente perturbadoras.

As características estranhas potencialmente perturbadoras são definidas por exclusão, ou seja, como o conjunto das características estranhas excluídas aquelas controladas por controle local e por controle estatístico e as casualizadas. Em geral, o conjunto completo das características potencialmente perturbadoras não pode ser

especificado pela identificação individual de cada uma dessas características na amostra. Semelhantemente ao processo indicado para a especificação das características estranhas, é conveniente iniciar a especificação das características estranhas potencialmente perturbadoras através da identificação de seus grandes agregados, prosseguindo-se, então, com a decomposição desses agregados. Esse procedimento é ilustrado pelos exemplos que seguem. Ilustração mais ampla é provida pelos exemplos da **Seção 5.8**.

Exemplo 5.26

a) No experimento de controle de verminose de coelhos com anti-helmínticos (**Exemplo 5.18**), com o controle local das características relacionadas à ninhada e o procedimento de casualização ilustrado anteriormente, todas as características estranhas da amostra são potencialmente perturbadoras, excetuadas as relacionadas com as ninhadas (que são controladas pelo controle local) e as características individuais dos animais dentro de cada ninhada (que são casualizadas); ou seja, são potencialmente perturbadoras: as características referentes ao ambiente (instalações, clima - temperatura, umidade, luminosidade, etc., incidências de doenças, pragas, predadores, etc.), ao manejo (suprimento de alimento e água, aplicação de medicamentos, etc.), ao processo de mensuração de características respostas e ao registro dos dados.

b) No experimento de controle de uma praga do feijoeiro com inseticidas (**Exemplo 5.19**) com o controle local da variação entre faixas de nível e com a atribuição aleatória dos níveis do fator inseticida a cada uma das faixas, são potencialmente perturbadoras todas as características estranhas da amostra, excetuadas as relacionadas com as faixas de nível (que são controladas pelo controle local) e as características individuais dos talhões dentro de cada faixa de nível (que são casualizadas); ou seja, são potencialmente perturbadoras: as características da semente (características genéticas e fenotípicas – pureza, sanidade,...), as características do ambiente (referentes a solo, clima, incidências de doenças, pragas, invasoras e predadores,...), as características referentes às técnicas de cultivo (semeadura, fertilização do solo, controle de doenças, pragas, invasoras, predadores,...) e as características referentes aos processos de mensuração e de registro dos dados.

O erro experimental que afeta inferências referentes a efeitos de fatores experimentais é constituído pelas características estranhas casualizadas e as características estranhas potencialmente perturbadoras. Em geral, é esperado que as características desta última classe não tenham efeitos relevantes e que, portanto, seus efeitos sobre as variáveis respostas resultem confundidos de modo não tendencioso com efeitos dos fatores experimentais; ou seja, é esperado que essas características se comportem como características casualizadas. Por essa razão, o erro experimental também é usualmente denominado **erro aleatório** ou **erro casual**. Essa é uma pressuposição importante para a validade, ou seja, a não tendenciosidade das inferências derivadas do experimento.

Entretanto, efeitos de características estranhas potencialmente perturbadoras que se revelam importantes por implicar variação considerável dos valores observados da variável resposta ficam confundidos tendenciosamente com os efeitos de fatores experimentais. As características potencialmente perturbadoras relevantes são designadas **características estranhas perturbadoras**.

Assim, a classe das características da amostra potencialmente perturbadoras compreende duas subclasses:

- características estranhas potencialmente perturbadoras irrelevantes e
- características estranhas perturbadoras.

O confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas perturbadoras torna tendenciosas as inferências referentes a efeitos causais de fatores experimentais sobre características respostas. O recurso para evitar a

ocorrência de características estranhas perturbadoras é o controle de técnicas experimentais.

Exemplo 5.27

No experimento de controle de verminose de coelhos com anti-helmínticos (**Exemplo 5.18**), pode se tornar característica estranha perturbadora qualquer das características estranhas potencialmente perturbadoras que se torne relevante. Particularmente, podem se tornar perturbadoras, em decorrência de ausência ou falha do processo de controle de técnicas experimentais: incidências de pragas, de predadores e de doenças não relacionadas à verminose (porque a incidência de verminose e qualquer característica afetada pela verminose são características respostas), ocorrências de condições ambientais adversas, e erros de mensuração e de registro dos dados.

Em resumo: O controle de técnicas experimentais permite a diminuição da variação atribuível a características estranhas, particularmente a diminuição da tendenciosidade provocada por características perturbadoras e a diminuição de erros aleatórios, decorrentes de características casualizadas e de características potencialmente perturbadoras irrelevantes. Por outro lado, o uso de planos de experimentos eficientes visa colocar na classe das características estranhas controladas (por controle local e controle estatístico) tantas características estranhas quanto exequível, prático e econômico. Entretanto, não é prático ou recomendável controlar por controle local e por controle estatístico mais do que poucas das muitas características estranhas do material experimental. A maioria delas deve ser deixada não controlada por essas técnicas. Tais características podem ser colocadas na classe das características casualizadas, através da casualização apropriada, ou, novamente, serem controladas através de técnicas experimentais.

A constituição da amostra é estabelecida pelas ações exercidas pelo pesquisador e as ocorrências naturais durante a execução do experimento. Inicia-se com a seleção da amostra inicial, prossegue durante a execução do experimento e é completada com a conclusão do experimento, ou seja, com a mensuração de características respostas e o registro dos dados. A classificação das características estranhas do material experimental segundo os processos de controle experimental a que são submetidas é estabelecida pelo procedimento adotado na execução do experimento. Esse procedimento é definido no plano do experimento, mas é freqüentemente sujeito a alterações durante a execução do experimento. Dessa forma, a identificação das classes das características estranhas controladas por controle local e por controle estatístico, das características estranhas casualizadas e das características estranhas controladas por técnicas experimentais requer a descrição do procedimento experimental. A identificação dessas classes de características estranhas é ilustrada na **Seção 5.8**.

5.7 Erro Experimental e Erro de Observação

Erro experimental

O erro experimental global de uma variável resposta é a variação dos valores observados dessa variável resposta que é atribuível às características estranhas (**Seção 5.6**). Esse erro experimental compreende diversas fontes de variação estranha:

- a) variação inerente ao processo de mensuração e ao registro dos dados;
- b) variação devida à reprodução não uniforme das condições experimentais nas unidades experimentais que devem receber ou manifestar uma mesma condição experimental;
- c) interações de condições experimentais e características estranhas; e
- d) outras fontes de variação relevantes fora do controle do pesquisador.

A segunda fonte de variação origina-se do confundimento dos efeitos das características próprias do fator experimental com efeitos de características estranhas veiculadas ou manifestadas juntamente com as condições experimentais (**Seção 5.2**). Variação dessa origem é denominada **erro de condição experimental**; no caso de fator de tratamento, ela é denominada mais especificamente **erro de tratamento**.

As duas últimas fontes de variação correspondem à omissão de efeitos sistemáticos devidos a características estranhas na formulação do modelo estatístico. Quando isso ocorre, diz-se que há um **erro de especificação** do modelo. Essas fontes de variação, se relevantes, podem inflacionar o erro experimental de modo considerável. Esse fato pode tornar-se importante, especialmente se tais fontes de variação não afetam em nível semelhante a variação atribuível aos efeitos de tratamentos.

O erro de condição experimental é uma fonte de variação importante em muitos experimentos. Assim, por exemplo, quando os tratamentos são equipamentos diferentes cada um dos quais é operado em diversos turnos, por um mesmo operador ou por operadores diferentes, pode ocorrer que o desempenho desses equipamentos varie entre os turnos devido à inabilidade de cada operador manter desempenho uniforme ou à variação de desempenho entre os operadores de um mesmo equipamento. Nesse caso, o erro de tratamento compreende o efeito de turno de operação ou a combinação dos efeitos de turno de operação e de operador. Em tais situações, seria mais apropriado considerar o erro de tratamento separadamente do erro experimental propriamente dito.

O controle local decompõe ou estratifica o erro experimental global em componentes correspondentes aos fatores de unidade, ou seja, às classificações das unidades de observação que ele constitui ou leva em conta. Dessa forma, o erro experimental fica decomposto em tantos estratos quantos são os fatores de unidade.

A fração do erro experimental global correspondente a um fator de unidade constitui um **estrato do erro experimental**.

Em geral, o erro experimental que afeta inferências referentes a um efeito de fatores experimentais é uma fração do erro experimental global composta por um subconjunto de seus estratos. Esse erro experimental pode variar com as inferências particulares.

O **erro experimental que afeta inferências referentes a um fator experimental** é a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades experimentais para esse fator que é atribuível às características estranhas que não são controladas por controle local e por controle estatístico.

Logo, o erro experimental que afeta inferências referentes a um fator experimental compreende a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades experimentais para esse fator, excetuados os componentes dessa variação que são atribuíveis às características estranhas controladas.

Em particular, em um experimento com um único fator experimental em que não é efetuado controle da variação atribuível a características estranhas, o erro experimental que afeta inferências referentes a esse fator é a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades experimentais dentro dos níveis desse fator.

Erro de observação

Em circunstâncias em que a unidade experimental elementar compreende mais de uma unidade de observação pode ser determinada a variação dos valores observados da

variável resposta nessas unidades de observação dentro das unidades experimentais elementares.

O **erro de observação** de uma variável resposta é a variação dos valores observados dessa variável resposta nas suas unidades de observação dentro das unidades experimentais elementares.

No caso em que as unidades de observação são unidades de amostragem (**Seção 5.5**), o erro de observação é denominado **erro de amostragem**.

Unidade experimental e erro experimental

A determinação correta das formações de unidades experimentais e dos estratos do erro experimental tem importância crucial para a validade das inferências derivadas do experimento. Depende dela a caracterização correta dos estratos do erro experimental que afetam inferências referentes a efeitos de fatores experimentais. É particularmente relevante a distinção entre unidade experimental elementar e unidade de observação, que freqüentemente não é levada em conta pelo pesquisador. Essa falha origina inferências tendenciosas decorrentes do uso incorreto do erro de observação em lugar do erro experimental em inferências referentes a efeitos de fatores experimentais. Isto porque, se a unidade experimental elementar compreende mais de uma unidade de observação, os erros experimentais que afetam essas inferências provêm da variação externa a essas unidades experimentais. Dessa forma, a unidade experimental elementar deve ser considerada como um todo. O erro de observação, ou seja, a variação dos valores observados da variável resposta entre unidades de observação dentro das unidades experimentais elementares, é irrelevante para essas inferências.

Exemplo 5.28

Para ilustração da distinção entre erro experimental e erro de observação, considerem-se os experimentos do **Exemplo 5.16**.

a) No experimento de lotação ou carga animal com animais em pastoreio, o erro experimental do peso corporal ao abate que afeta o fator experimental lotação é a variação dos pesos corporais médios (ou globais) observados nos poteiros (pesos de conjuntos de dez animais) que é atribuível a características estranhas e que não é controlada por controle local. Na ausência de controle local, esse erro experimental é a variação entre os pesos corporais médios observados nos poteiros com mesma lotação. O erro de observação para a variável resposta peso corporal ao abate é a variação entre os pesos corporais dos animais dentro de poteiros.

b) No experimento de comparação de cultivares de pessegueiro o erro experimental do peso da produção de frutos que afeta o fator experimental cultivar é a variação entre os pesos médios (globais) dos frutos produzidos por parcela (conjunto de quatro plantas) que é atribuível a características estranhas e que não é controlada por controle local. Na ausência de controle local, o erro experimental é a variação entre as produções médias de frutos por parcela com mesma cultivar. O erro de observação para a variável resposta peso da produção de frutos é a variação entre os pesos da produção de frutos por planta dentro de parcela.

Exercícios 5.3

1. Explique a origem do erro experimental (global).
2. Em que consiste o controle experimental? Qual é o seu propósito?
3. Explique e ilustre o significado do controle de técnicas experimentais.
4. Explique porque as frações das características estranhas que são controladas através de técnicas experimentais são excluídas da composição da amostra e porque, muito freqüentemente, as características estranhas abrangidas por controle de técnicas experimentais não são completamente excluídas da composição da amostra.

5. Explique como o controle de técnicas experimentais pode implicar em prejuízo da representatividade da amostra.
6. Explique porque a presença de um fator experimental intrínseco usualmente requerer o controle local da característica estranha que lhe é associada.
7. Como é exercido o controle estatístico de uma característica estranha? Cite um exemplo em que o controle estatístico possa ser apropriado.
8. Explique e ilustre os significados de casualização na atribuição dos tratamentos e casualização na implementação de uma técnica experimental.
9. Explique a relação entre casualização e controle local.
10. Distinga e ilustre as implicações dos processos de controle experimental para a composição da amostra, utilizando um exemplo de experimento de sua área.
11. Qual é a origem das características estranhas controladas em um experimento? Qual é a origem das características estranhas casualizadas? Qual é a origem das características estranhas potencialmente perturbadoras?
12. Suponha que o experimento a que se refere o exercício 12 dos **Exercícios 5.2** será executado, em cada local e em cada ano, em um terreno de dimensões apropriadas para a constituição de 24 talhões com variação considerável de características do solo, mas esses talhões serão classificados em 6 grupos de 4 talhões suficientemente homogêneos. Então, os 4 tratamentos serão atribuídos aleatoriamente aos 4 talhões de cada um desses 6 grupos, separada e independentemente para cada um dos grupos.
 - a) Relacione as características estranhas relevantes de cada um dos agregados de características estranhas do material experimental.
 - b) Liste as características estranhas relevantes que devam ser submetidas ao controle de técnicas experimentais.
 - c) Indique as características estranhas relevantes que devam ser controladas por controle local.
 - d) Indique alguma característica estranha que possa ser cogitada para controle estatístico.
 - e) Descreva as características estranhas que resultarão casualizadas.
 - f) Especifique as características estranhas potencialmente perturbadoras.
 - g) Entre as características estranhas especificadas no item f), indique aquelas que você espera que se comportarão como se fossem casualizadas.
 - h) Entre as características estranhas especificadas no item f), indique aquelas com potencialidade mais elevada de se revelarem perturbadoras.
13. No experimento de que trata o exercício 13 dos **Exercícios 5.2** os 24 boxes individuais de cada granja são considerados suficientemente uniformes quanto a características do ambiente, mas os doze leitões de cada uma das duas raças que serão utilizados em cada granja em cada ano terão amplitude considerável de idade. Por essa razão, antes de serem assinalados aos 24 boxes, os animais de cada uma das 2 raças serão classificados em 4 grupos de 3 animais homogêneos quanto à idade e demais características individuais e, então, as três doses de estradiol serão atribuídas aleatoriamente aos 3 animais de cada um dos 4 grupos de cada uma das 2 raças, separada e independentemente para cada um dos grupos. Responda as mesmas questões formuladas no exercício 12.
14. Complemente a descrição do procedimento experimental apropriado para o experimento considerado na resposta do exercício 14 do **Exercícios 5.2** de modo a possibilitar as respostas às questões que seguem:
 - a) Liste as características estranhas relevantes de cada um dos agregados de características estranhas.
 - b) Identifique as características estranhas relevantes que devam ser sujeitas ao controle de técnicas experimentais.
 - c) Indique as características estranhas relevantes que devam ser controladas por controle local, se for o caso.

- d) Indique alguma característica estranha que deva ser controlada por controle estatístico, se for o caso.
 - e) Especifique as características estranhas efetivamente casualizadas.
 - f) Especifique as características estranhas potencialmente perturbadoras.
 - g) Indique as características estranhas que, embora não efetivamente casualizadas, o pesquisador pode esperar que se comportem como casualizadas.
 - h) Que ações o pesquisador deve tomar para evitar que características estranhas potencialmente perturbadoras se tornem perturbadoras?
15. Distinga e ilustre os conceitos de erro experimental e erro de observação através de um experimento de sua área.

5.8 Co-variável Explanatória

Em algumas situações uma característica explanatória pode não ser um fator experimental, mas uma característica expressa por uma co-variável:

Uma **co-variável explanatória** é uma variável que expressa uma característica explanatória cujos níveis na amostra têm as seguintes propriedades:

- 1) não são escolhidos e definidos no plano do experimento;
- 2) podem ser distintos para todas as unidades da amostra; e
- 3) não constituem uma partição significativa dessas unidades.

A consideração de uma co-variável explanatória implica que o objeto das inferências do experimento passa a ser a relação causal entre a variável resposta e os fatores experimentais levando em conta a variação atribuível a essa co-variável. Em situação pouco comum o foco é a relação entre a variável resposta e a co-variável. O procedimento estatístico para essas inferências é a **análise da co-variação**. A análise da co-variação requer a pressuposição de uma expressão para a relação entre a variável resposta e a co-variável. Muito freqüentemente essa relação é postulada linear, o que significa a pressuposição de que para acréscimos iguais da co-variável correspondem variações (acrécimos ou decréscimos) iguais para a variável resposta. A validade dessas inferências depende da adequabilidade da relação postulada.

Uma co-variável explanatória é uma variável que exprime uma característica inerente às unidades cujos níveis se manifestam fora do controle do pesquisador. Nessas circunstâncias inferências referentes à relação de uma variável resposta com uma co-variável não podem ter a conotação de causalidade.

A análise da co-variação efetua o ajustamento dos valores observados da variável resposta que elimina da variação que é atribuível à co-variável. Isso significa que os valores ajustados da variável resposta seriam os valores que seriam observados se os valores da co-variável fossem todos iguais à média destes valores.

A consideração de uma co-variável explanatória é usualmente de interesse secundário no experimento, não é prevista no plano do experimento e surge no processo de interpretação e exploração dos resultados. Entretanto ela pode ser importante para os propósitos enumerados a seguir.

- 1) Detecção de interações de fatores experimentais com características das unidades: Usualmente, procedimentos de inferência estatística pressupõem a inexistência de interações dessa origem. Entretanto, em algumas situações, o efeito de uma mesma condição experimental pode variar sistematicamente entre as unidades em decorrência de interação com alguma característica dessas unidades. Nessas circunstâncias pode ser interessante levar em conta essa característica estranha como

uma co-variável explanatória para verificar se os efeitos dos fatores experimentais variam com essa co-variável.

Exemplo 5.29

a) Em um experimento de suplementação alimentar de vacas leiteiras a produção de leite pode ser afetada pelo peso corporal do animal. Então, podem ser convenientes o registro do peso inicial dos animais e sua consideração como uma co-variável explanatória para verificar se os efeitos dos tratamentos sobre a produção de leite variam com o peso inicial do animal.

b) Em um experimento sobre o efeito da poda da videira a produção de cachos de uva pode ser afetada pela produção na safra anterior. Assim, pode ser interessante verificar se o efeito da poda sobre a produção de cachos na safra atual varia com a produção na safra anterior.

2) Discriminação de efeitos de fatores experimentais de efeitos de características estranhas: Características estranhas das unidades podem ter efeitos relevantes sobre características respostas que se confundem com efeitos de fatores experimentais. O registro de dados dessas características pode ser importante para levá-las em conta nas inferências referentes à relação causal entre a variável resposta e os fatores experimentais para distinguir seus efeitos dos efeitos dos fatores experimentais. Esse propósito tem relação com o referido no item anterior.

Exemplo 5.30

a) Em um experimento do efeito da muda sobre características de galos reprodutores, características do ambiente, principalmente temperatura, podem ter efeito relevante sobre o desempenho do animal. A consideração da temperatura como co-variável explanatória pode ser útil para discriminação da variação da variável resposta atribuível à muda e à temperatura.

b) Em um experimento para pesquisa do efeito da nutrição da ovelha matriz sobre o peso corporal do cordeiro ao nascer, a idade da ovelha também pode ter efeito sobre o peso do cordeiro. Assim, pode ser interessante discriminar os efeitos atribuíveis ao fator experimental dieta dos efeitos devidos à idade da ovelha.

3) Explicação sobre a origem dos efeitos de fatores experimentais: A consideração de uma característica resposta intermediária (**Seção 7.2**) como co-variável explanatória pode ser útil para a melhor compreensão dos efeitos de fatores experimentais sobre uma variável resposta, particularmente para distinguir efeitos diretos e efeitos indiretos.

Exemplo 5.31

a) Em um experimento para pesquisa do efeito da dieta sobre o ganho de peso de perus alimentados à vontade é sabido que a dieta também pode afetar o consumo e este, por sua vez, o ganho de peso. Nessas circunstâncias, pode ser interessante derivar inferências referentes às diferenças de efeitos das dietas sobre o ganho de peso tanto sem ajustamento para a variação atribuível ao consumo como com esse ajustamento. Dessa forma, podem ser distinguidos os efeitos das dietas sobre o ganho de peso total e sobre o ganho de peso efetivo.

b) Em um experimento do efeito da fumigação do solo de lavouras de aveia com diversos produtos para controle de nematóides a fumigação pode ter efeito sobre a produção de grãos simplesmente como um reflexo de seu efeito sobre os nematóides, mas, também, efeito de outra origem, como o provimento ao solo de alguma substância fertilizante. Essa dúvida pode ser elucidada através de duas análises da variável resposta produção de grãos: uma sem ajustamento para a variação atribuível à co-variável número de nematóides e outra com esse ajustamento.

4) Inferências referentes a uma variável resposta derivada da razão de outras duas variáveis respostas: Em algumas situações inferências referentes a uma variável resposta derivada de outras duas variáveis respostas (**Seção 7.2**) podem ser obtidas através de uma relação entre essas duas variáveis em que uma delas assume o papel de co-variável explanatória.

Exemplo 5.32

a) Em um experimento de fertilização do solo para cultivo de beterraba açucareira o peso da produção de raízes é uma função do peso médio da raiz e do número de raízes. Assim, se o número de raízes é afetado por efeitos de tratamentos, uma análise do peso da produção de raízes com ajustamento para o número de raízes exprimirá essencialmente os efeitos de tratamentos sobre o peso médio da raiz.

b) No experimento do efeito da dieta sobre o ganho de peso de perus alimentados à vontade (**Exemplo 5.31** a) a conversão alimentar é a razão entre o consumo e o ganho de peso. Inferências referentes à conversão alimentar podem ser derivadas pelo ajustamento do consumo para a variação devida ao ganho de peso, através de uma análise de co-variação.

5) Inferências sobre a relação entre uma variável resposta e uma co-variável explanatória levando em conta os efeitos atribuíveis aos fatores experimentais: Inferências referentes a relações de variáveis com base em dados de experimentos devem levar em conta a estrutura do experimento, ou seja, a relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades (**Seção 10.4**). Usualmente, essas inferências devem ser derivadas para cada nível ou combinação de níveis dos fatores experimentais, ou mais globalmente, dependendo da presença ou ausência de interações entre esses fatores e a co-variável. O **Exemplo 5.33** ilustra algumas situações de pesquisa experimental em que há interesse em relações de variáveis.

Exemplo 5.33

Experimentos em que há interesse em relação entre uma variável resposta e uma co-variável:

a) experimento de nutrição de suínos com dois fatores experimentais: dieta e sexo - relação entre comprimento do lombo e peso corporal ao abate (ou tempo para o abate);

b) experimento para pesquisa do efeito do desbaste de flores sobre a produção de pêssego - relação entre teor de açúcar e tamanho do fruto;

c) experimento de fertilização do solo para o cultivo de aspargo - relação entre peso da produção e número de turios;

d) experimento para pesquisa do efeito da suplementação mineral em aves poedeiras - relação entre espessura da casca e tamanho do ovo.

5.9 Ilustração

Esta seção apresenta três exemplos com os propósitos de revisão e ilustração mais ampla dos conceitos emitidos nas seções anteriores, e de alguns conceitos básicos apresentados em capítulos prévios.

Exemplo 5.34

População objetivo: Viveiros de produção de mudas de kiwi do Estado do Rio Grande do Sul que existirão em um intervalo de tempo imediato à conclusão da pesquisa.

Unidade da população objetivo: Um viveiro particular que constitui essa população objetivo, com suas características referentes às estacas (procedência, comprimento, espessura, sanidade, etc.), ao ambiente (características do solo e do clima: temperatura, umidade, insolação, incidências de doenças, pragas, predadores, etc.) e às técnicas de cultivo (preparo das estacas e dos vasos, estaquia, aplicações de inseticidas e fungicidas, proteção contra predadores e preparo da muda).

Problema de pesquisa: Baixa produção de mudas pelo método de propagação por estaquia.

Hipótese de pesquisa: O enraizamento de estacas e, portanto, a produção de mudas são elevados pelo emprego do fitohormônio sintético ácido indol-butírico (AIB).

Ação de pesquisa: Experimento para verificar se o AIB aumenta o enraizamento e, em caso positivo, determinar a dose apropriada de AIB.

Características respostas importantes: Número de estacas enraizadas, número de raízes por estaca, comprimento médio da raiz, percentagem de enraizamento e desenvolvimento radicular.

Características explanatórias da população objetivo: Ácido indol-butírico; níveis: doses do intervalo [0; 5.000 ppm]. Como o efeito do AIB pode depender da cultivar adotada, a característica cultivar também é considerada como um fator experimental; seus níveis na população objetivo são as cultivares utilizadas na região.

Características explanatórias da amostra: 1) Ácido indol-butírico, com quatro níveis: 1 - 0 ppm, 2 - 1.500 ppm, 3 - 3.000 ppm, 4 - 5.000 ppm. 2) Cultivar, com dois níveis: duas cultivares escolhida entre as cultivares adotadas na região: 1 - Hayward, 2 - Tomuri.

Nessas circunstâncias, o experimento compreende dois fatores experimentais: fitohormônio AIB e cultivar, ambos fatores de tratamento. Os tratamentos na amostra são: cada um dos 4 níveis de AIB, cada uma das 2 cultivares e cada uma das 8 combinações das 4 doses de AIB com as 2 cultivares.

Procedimento experimental: O experimento é conduzido em uma casa de vegetação de uma unidade de pesquisa. São utilizadas 320 estacas de cada uma das duas cultivares, de mesma procedência e de comprimento e espessura uniformes. As estacas de cada uma das cultivares são separadas em 16 subconjuntos de 20 estacas; então, os 4 níveis do fator AIB são atribuídos aleatoriamente a esses 16 subconjuntos de estacas de modo que cada um dos 4 níveis resulta assinalado a 4 desses subconjuntos. Os 32 subconjuntos de estacas das duas cultivares já tratadas com o AIB são, então, atribuídos aleatoriamente a 32 vasos dispostos em uma bancada da casa de vegetação. Após o período apropriado para o enraizamento, é procedida a mensuração e o registro dos valores observados das variáveis respostas em cada estaca: enraizamento (sim ou não), número de raízes e comprimento das raízes.

Características estranhas: Conjunto das características que se manifestam na amostra e que não são características respostas ou características explanatórias, ou seja, o conjunto dos seguintes agregados de características: características referentes à estaca (procedência, comprimento, espessura e sanidade, etc., excluídas as características inerentes a cultivar, que é uma característica explanatória), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, etc.), às técnicas de cultivo (preparo das estacas e aplicação do fitohormônio AIB, excluídas propriedades do próprio AIB, preparo do vaso, estaquia, aplicações de inseticidas e outros defensivos, etc.), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Material experimental ou amostra: Compreende as três classes de características da amostra, ou seja, as características explanatórias, as características estranhas (não controladas por técnicas experimentais - a fração das características estranhas que é controlada por técnicas experimentais é excluída da amostra) e as características respostas, que foram descritas anteriormente.

Unidade de observação: As variáveis respostas número de estacas enraizadas, número de raízes por estaca, comprimento médio da raiz, percentagem de enraizamento e desenvolvimento radicular são todas mensuradas individualmente para cada estaca; portanto, a estaca é a unidade de observação para essas variáveis respostas.

Unidade experimental para os fatores experimentais fitohormônio AIB e cultivar: Vaso com um conjunto de 20 estacas e os níveis das características do material experimental que lhes correspondem, ou seja, os níveis das características respostas, a dose de AIB e a cultivar, e os níveis das características estranhas.

Características estranhas controladas por técnicas experimentais: Todas as características estranhas potencialmente relevantes cuja manifestação na amostra é controlada por técnicas experimentais: características referentes às estacas (procedência, comprimento, espessura e sanidade), ao ambiente (características do solo: fertilidade, profundidade, declividade,..., características do clima: temperatura, umidade, insolação,..., incidências de pragas, doenças e predadores), às técnicas de cultivo (preparo das estacas, preparo do vaso, estaquia, aplicações de inseticidas e fungicidas, proteção contra predadores), e aos processos de mensuração e de registro dos dados. Esse controle de técnicas experimentais deve ser procedido sem prejuízo da representação da população objetivo pela amostra

Observe-se que, em geral, o controle de técnicas experimentais controla a manifestação de características estranhas apenas parcialmente; a parte que não é controlada permanece variável nas unidades da amostra. Essa parte das características estranhas que não é controlada constitui a amostra; a parte controlada é excluída da amostra. (**Seção 5.6.5.**)

Características estranhas controladas por controle local: Nenhuma; supostamente, a variação devida às características estranhas referentes aos vasos e ao ambiente é irrelevante; a parte relevante dessas características foi eliminada da amostra pelo controle de técnicas experimentais.

Características estranhas controladas por controle estatístico: Nenhuma.

Características estranhas casualizadas: Características estranhas referentes aos 32 conjuntos de estacas e aos 32 vasos, e características permanentes do ambiente.

Características estranhas potencialmente perturbadoras: Conjunto das características estranhas da amostra não casualizadas (no presente caso, não há características estranhas controladas por controle local nem por controle estatístico), ou seja: características referentes à estaca (procedência, comprimento, espessura e sanidade, etc.), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, etc.), às técnicas de cultivo (preparo das estacas, preparo do vaso, estaquia, aplicações de inseticidas e outros defensivos, etc.) e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Características estranhas perturbadoras: Características potencialmente perturbadoras que se manifestem relevantes; por exemplo, ocorrência de variação considerável de temperatura ou umidade, e incidências de doenças, pragas e predadores, se o controle de técnicas experimentais dessas características não for eficaz.

Erro experimental de uma variável resposta que afeta inferências referentes aos fatores experimentais AIB e cultivar: variação entre os valores observados da variável resposta entre os vasos (com 20 estacas) que é atribuível às características estranhas (no presente caso não há controle local), ou seja: variação entre os valores observados da variável resposta entre os vasos com um mesmo nível de AIB e uma mesma cultivar.

Exemplo 5.35

População objetivo: Lavouras de trigo do Planalto do Rio Grande do Sul que existirão no intervalo de cinco anos após a conclusão da pesquisa.

Unidade da população objetivo: Uma lavoura particular dessa população objetivo, com as características que lhe correspondem referentes à semente (pureza, vigor, sanidade, etc.), ao ambiente (características do solo e do clima, incidências de pragas, doenças e predadores), às técnicas de cultivo (preparo do solo, plantio, aplicações de inseticidas e fungicidas, proteção contra predadores e colheita).

Problema de pesquisa: Prejuízo à produção de grãos decorrente de doenças fúngicas foliares (ferrugem, septoriose e helmintosporiose).

Hipótese de pesquisa: A aplicação de fungicidas disponíveis no mercado controla a incidência das doenças foliares do trigo, evitando o dano decorrente para a produção.

Ação de pesquisa: Experimento para a comparação dos efeitos de diversos fungicidas sobre o controle de doenças foliares e a produção de grãos.

Características respostas importantes: Peso da produção de grãos, graus de incidências da ferrugem, da septoriose e da helmintosporiose na folha, quantidade de espiguetas por planta, quantidade de espigas por espiguetas, quantidade de grãos por espiga, e peso médio e densidade do grão.

Características explanatórias da população objetivo: Fungicida, decorrente da hipótese formulada; níveis desse fator - fungicidas específicos existentes no mercado apropriados para consideração, e ausência de fungicida, ou seja: 1 - Mancozeb DF 75%, 2 - Ciproconazole 10%, 3 - Propiconazole, 4 - Dinaconazole 5% CE e 5 - sem fungicida. Como os efeitos dos fungicidas podem depender da suscetibilidade (ou resistência) da cultivar adotada às doenças fúngicas da folha, cultivar é considerada como um fator experimental; seus níveis na população objetivo são as cultivares utilizadas na região. Dado que o efeito do fungicida depende da presença do fungo; portanto, pode variar entre os locais da região e entre os anos, local e ano também são considerados características explanatórias; seus níveis são, respectivamente, os locais de cultivo

de trigo na região e os anos de cultivo, em um intervalo de tempo imediato à conclusão da pesquisa. Os fatores experimentais local e ano compreendem as características típicas ou permanentes dos locais e dos anos sob consideração, respectivamente; essas são particularmente características referentes a solo e clima para o fator local, e a clima para o fator ano.

Características explanatórias da amostra: 1) Fungicida, com cinco níveis (os mesmos considerados na população objetivo): 1 - Mancozeb DF 75%, 2 - Ciproconazole 10%, 3 - Propiconazole, 4 - Dinaconazole 5% CE e 5 - sem fungicida (controle). 2) Cultivar, com três níveis - uma cultivar de cada um de três níveis de suscetibilidade às doenças fúngicas da folha, escolhida entre as cultivares adotadas na região: 1 - BR-23, 2 - EMBRAPA 24 e 3 - Maringá. 3) Local, com seis níveis (6 locais escolhidos da região de cultivo de trigo); e 4) Ano, com três níveis (os 3 próximos anos).

Nessas circunstâncias, o experimento compreende quatro fatores experimentais: dois fatores de tratamento - fungicida e cultivar, e dois fatores intrínsecos: local e ano. Os tratamentos na amostra são: cada um dos 5 níveis do fator fungicida, cada uma das 3 cultivares e cada uma das 15 combinações dos 5 tratamentos fungicidas com as 3 cultivares.

Procedimento experimental: O experimento é conduzido em um terreno de cada um dos 6 locais, na seqüência definida de 3 anos. Cada um desses terrenos é preparado e, então, dividido em 60 talhões (parcelas). Para o controle da heterogeneidade do solo, em cada local e em cada ano, os talhões são classificados em 4 grupos (blocos) de 15 talhões contíguos ou próximos, nos terrenos planos, e em 4 grupos (blocos) de 15 talhões numa mesma faixa de nível, nos terrenos em declive. É usualmente esperado que nessas circunstâncias os 15 talhões de um mesmo grupo sejam mais homogêneos, especialmente quanto a características do solo, do que o conjunto global dos 60 talhões de cada local e ano particular. A assinalação dos tratamentos (combinações dos fungicidas e cultivares) aos talhões é procedida separada e independentemente para cada combinação de local e ano. Em cada local, em cada ano, os 15 tratamentos são atribuídos aos 15 talhões de cada um dos grupos, por sorteio efetuado separada e independentemente para cada grupo, de modo que em cada grupo cada talhão recebe um tratamento diferente dos tratamentos dos demais talhões. Dessa forma, cada grupo compreende um conjunto completo dos 15 tratamentos.

Na época própria, é procedida a avaliação dos graus de incidências da ferrugem, da septoriose e da helmintosporiose na folha, através de uma amostra de plantas selecionadas de cada uma das parcelas. Quando os grãos atingem o estado de maturação apropriado, é efetuada a colheita da parte interna de cada parcela (usualmente denominada "área útil" da parcela), sendo desconsideradas as plantas da parte externa da parcela ("bordadura" da parcela). Esse procedimento visa evitar a influência sobre uma parcela de tratamentos aplicados em parcelas vizinhas. Logo após, é determinado o peso da produção dos grãos por parcela. Então, é separada uma amostra das plantas de cada parcela para a determinação dos valores das variáveis respostas número de espiguetas por planta, número de espigas por espiguetas, número de grãos por espigas, peso de 1000 grãos e peso hectolitro.

Características estranhas da amostra: Conjunto das características que se manifestam na amostra e que não são características respostas ou características explanatórias, ou seja, os seguintes agregados de características: características referentes à semente (pureza, vigor, estado sanitário, etc., excluídas as características inerentes a cultivar, que é um fator experimental), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, etc., excetuadas as propriedades inerentes a local e ano, que são fatores experimentais), às técnicas de cultivo (preparo do solo, plantio, aplicações de inseticidas e outros defensivos, excetuado fungicida para controle de doenças fúngicas foliares, que é um fator experimental, colheita, etc.), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Material experimental ou amostra: Compreende as três classes de características da amostra descritas anteriormente: as características explanatórias, as características estranhas não controladas por técnicas experimentais e as características respostas.

Unidade de observação: As características respostas relevantes são mensuradas na parcela. Portanto, a parcela é a unidade de observação para essas características respostas. A produção de grãos é mensurada globalmente para os grãos colhidos da área útil da parcela; as características respostas número de espiguetas por planta, número de espigas por espiguetas,

número de grãos por espigas e peso de 1000 grãos são mensuradas em uma amostra de plantas da parcela, previamente definida; os graus de incidências de ferrugem na folha e no caule também são mensurados em uma amostra de plantas da parcela.

Unidade experimental - a) Para os fatores experimentais fungicida e cultivar: o conjunto dos níveis das características do material experimental referentes a um talhão (parcela). É usual identificar a unidade experimental nessas circunstâncias como um talhão; entretanto, deve ser entendido que essa identificação abreviada subentende a consideração do conjunto dos níveis das características explanatórias, estranhas e respostas referentes ao talhão. b) Para o fator experimental local: o conjunto global dos 240 (4x60) talhões dos 4 anos de um local particular, incluindo os níveis que lhe correspondem das características do material experimental. c) Para o fator experimental ano: o conjunto global dos 360 (6x60) talhões dos 6 locais de um ano particular com os níveis que lhe correspondem das características do material experimental.

Características estranhas controladas por técnicas experimentais: Conjunto das características estranhas potencialmente relevantes cuja manifestação na amostra é controlada pela implementação de técnicas experimentais: características referentes à semente (pureza, vigor e sanidade), ao ambiente (características do solo: fertilidade, profundidade, declividade,..., características do clima: temperatura, umidade, insolação,..., incidências de pragas, doenças e predadores), às técnicas de cultivo (preparo do solo, plantio, aplicações de inseticidas e fungicidas, proteção contra predadores e colheita), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Características estranhas controladas por controle local: Características estranhas referentes a: a) grupos (blocos) de 15 talhões contíguos ou de uma mesma faixa de nível, principalmente características referentes ao solo (fertilidade, umidade, profundidade, etc); b) locais, cada um dos quais constituído de 240 talhões, excluídas as características não inerentes ao fator experimental local; e c) anos, cada um constituído de 360 talhões, excluídas as características não inerentes ao fator experimental ano. As características referentes aos locais e aos anos controladas por controle local são aquelas que não são típicas ou permanentes dos locais e anos, respectivamente, ou seja, são as características que variam eventualmente, tais como as referentes a técnicas de cultivo, incidências de pragas, doenças, invasoras e predadores, e aos processos de mensuração e registro dos dados.

Características estranhas controladas por controle estatístico: Nenhuma.

Características estranhas casualizadas: Características estranhas dos talhões da amostra referentes ao solo e aos outros constituintes permanentes do ambiente, dentro de cada grupo de talhões constituído pelo controle local.

Características estranhas potencialmente perturbadoras: Conjunto das características estranhas da amostra não controladas pelo controle local (efetuado pela formação dos grupos de talhões) nem casualizadas, ou seja: características referentes à semente (pureza, vigor, estado sanitário, etc., excetuadas aquelas inerentes a cultivar), ao ambiente (solo, clima, incidências de pragas, doenças, predadores e invasoras, etc.), às técnicas de cultivo (preparo do solo, plantio, aplicações de inseticidas e de outros defensivos, excetuado fungicida para controle de doenças fúngicas foliares, colheita, etc.), e aos processos de mensuração e de registro dos dados. (São excluídas desse conjunto de características: as características permanentes do solo e do clima controladas pelo controle local e pela casualização, e as características referentes ao manejo que obedecem ao controle local.)

Características estranhas perturbadoras: Características potencialmente perturbadoras que se manifestem de modo relevante; por exemplo, acamamento de plantas e ocorrências de temporal, geada ou granizo, que não são passíveis de controle de técnicas experimentais, e incidências de predadores e pragas, se o controle de técnicas experimentais não for eficaz.

Erro experimental de uma variável resposta - a) Que afeta inferências referentes aos fatores experimentais fungicida e cultivar: variação entre os valores observados da variável resposta entre os talhões que é atribuível às características estranhas não controladas pelo controle local (isto é, pelo agrupamento dos talhões); ou seja, variação entre os valores observados da variável resposta entre talhões dentro de grupos de unidades, excluídos os componentes atribuíveis à fungicida e a cultivar. O erro experimental que afeta inferências referentes a esses fatores experimentais para um local e ano particular é o correspondente componente daquele erro. b) Que afeta inferências referentes ao fator experimental local: variação entre os valores observados da variável resposta entre os 6 conjuntos de 240 talhões (dos 4 anos) correspondentes aos 6 locais

que é atribuível a características estranhas. c) Que afeta inferências referentes ao fator ano: variação entre os valores observados da variável resposta entre os conjuntos de 360 talhões (dos 6 anos) dos 4 locais que é atribuível a características estranhas.

Exemplo 5.36

População objetivo: Unidades (instalações) de produção de suínos da raça Landrace criados em confinamento no Estado do Rio Grande do Sul que existirão no intervalo de seis anos após a conclusão da pesquisa.

Unidade da população objetivo: Uma unidade (instalação) de produção de suínos, com as correspondentes características referentes ao animal (procedência, sexo, conformação, sanidade, etc.), ao ambiente (instalações, clima: temperatura, umidade, luminosidade, incidências de doenças, etc.), às técnicas de manejo (suprimento de ração e água, aplicações de vacinas e antibióticos, outros tratamentos sanitários e abate).

Problema de pesquisa: Elevado custo da ração consumida nas fases de crescimento e terminação.

Hipótese de pesquisa: A substituição parcial do milho e do farelo de soja pela casca de soja tostada na composição da ração diminui o custo desta e não prejudica o desenvolvimento corporal nem as características de carcaça.

Ação de pesquisa: Experimento para a comparação de rações com os componentes: milho e farelo de soja parcialmente substituídos por casca de soja tostada.

Características respostas relevantes: Tempo para o abate, ou seja, tempo para o animal atingir 90 kg de peso corporal, ganho de peso, ganho médio diário de peso corporal, rendimento de carcaça, comprimento de carcaça, quantidade de lombo, quantidade de toucinho, quantidade de ração consumida, conversão alimentar.

Características explanatórias da população objetivo - Ração; níveis: percentagens de substituição do milho e do farelo de soja por casca de soja tostada compreendidas no intervalo entre 0% e 18%. Como a população objetivo compreende animais machos e fêmeas e o efeito da ração pode depender do sexo, esta característica deve ser característica explanatória, com dois níveis: 1 - macho, 2 - fêmea. Como o efeito da ração pode variar com o local e com o ano, principalmente em decorrência de diferenças de clima, local e ano também devem ser considerados características explanatórias. O fator experimental sexo compreende as características genóticas e fenotípicas distintivas dos sexos. Os fatores experimentais local e ano são constituídos pelas características típicas ou permanentes dos locais e dos anos sob consideração, respectivamente; essas são principalmente características do clima, mas também podem referir-se a instalações e manejo, no caso do fator local, se instalações e técnicas de manejo são típicas dos locais.

Características explanatórias da amostra: 1) Ração, com quatro níveis: 1 - 0%, 2 - 6%, 3 - 12% e 4 - 18% de substituição do milho e do farelo de soja por casca de soja tostada. 2) Sexo, com dois níveis: 1 - macho, 2 - fêmea. 3) Local, com quatro níveis: 4 granjas escolhidas da região. 4) Ano, com três níveis: 3 anos de execução do experimento.

Assim, esse experimento compreende quatro fatores experimentais: um fator de tratamento - ração, e três fatores intrínsecos - sexo, local e ano.

Procedimento experimental: O experimento é conduzido nas 4 granjas na sucessão definida de 3 anos. Em cada granja e em cada um dos anos são utilizados 20 boxes com capacidade para dois animais e 20 animais machos e 20 fêmeas, com variação considerável de peso entre animais de mesmo sexo. A ração é administrada aos animais em comedouros, um comedouro em cada boxe, igualmente acessível aos dois animais do boxe. Como as condições ambientais são heterogêneas, os 20 boxes são agrupados em 5 grupos de 4 boxes, cada grupo constituído de 4 boxes próximos, mais uniformes do que o conjunto de todos os boxes que serão utilizados. Os animais de cada sexo também são classificados em 5 grupos de 4 animais de idades próximas, de modo que as diferenças relevantes de idade ficam entre os grupos. Cada grupo de 4 fêmeas e cada grupo de 4 machos é assinalado a um grupo de 4 boxes, de modo que em cada boxe resulta um animal de cada sexo. A atribuição das rações aos boxes é efetuada separada e independentemente para cada combinação de granja e ano. Para cada granja e em cada ano, a definição da ração a ser assinalada a cada boxe particular é procedida por sorteio efetuado

separada e independentemente para cada grupo de 4 boxes, de modo que cada um desses grupos recebe um conjunto completo das 4 rações.

Antes de serem introduzidos nos boxes aos quais foram assinalados, os animais são pesados individualmente, para a determinação do peso corporal inicial para propósito de controle estatístico. A ração é provida diariamente, nas quantidades pré-estabelecidas; antes da colocação da ração nos comedouros, as sobras são retiradas e pesadas. Na medida em que cada animal atinge o peso corporal de 90 kg, ele é abatido. Então, a carcaça é destacada e são determinados seu peso e comprimento. Imediatamente, a carcaça é dividida em suas partes importantes (lombo, toucinho, etc.) para a determinação das correspondentes medidas.

Características estranhas da amostra: Conjunto das características que se manifestam na amostra e que não são características respostas ou características explanatórias, ou seja: características individuais dos leitões não inerentes a sexo (idade, peso, características genéticas e características referentes à procedência, estado sanitário inicial, etc.), do ambiente (instalações, clima - temperatura, umidade, luminosidade, etc., incidências de doenças, etc., excetuadas as propriedades inerentes a local e ano, que são fatores experimentais), das técnicas de manejo (suprimento de ração e água, aplicações de vacinas, antibióticos e outros tratamentos sanitários, abate, etc., excluídas as propriedades inerentes à ração, que constitui um fator experimental), e dos processos de mensuração e de registro dos dados.

Material experimental: Compreende as três classes de características da amostra descritas anteriormente: os fatores experimentais, as características estranhas (excluídas as frações dessas características controladas por técnicas experimentais) e as características respostas.

Unidade de observação - a) Para as características respostas referentes ao animal, ou seja, tempo para o abate, ganho médio diário de peso, comprimento do lombo e rendimento de carcaça: o animal. b) Para as características respostas quantidade de ração consumida e conversão alimentar: o boxe (ou o conjunto dos dois animais do boxe).

Unidade experimental - a) Para o fator ração: o conjunto dos níveis das características estranhas, das características explanatórias e das características respostas referentes a um boxe particular e aos animais nesse boxe. É comum referir a unidade experimental para o fator ração como o boxe, ou o conjunto dos dois animais em um boxe. Deve ser claramente entendido que essa é uma especificação abreviada, e que o conceito de unidade experimental é mais abrangente, englobando o conjunto dos níveis de todas as características estranhas, explanatórias e respostas relativas ao boxe e ao correspondente conjunto de dois animais. b) Para o fator sexo: um animal com o conjunto dos níveis das características explanatórias, estranhas e respostas que lhe correspondem. c) Para o fator local: o conjunto global dos 60 (3x20) boxes e correspondentes 120 animais dos 3 anos de uma granja particular. d) Para o fator ano: o conjunto global dos 80 (4x20) boxes e 160 animais das 4 granjas de um ano particular.

Características estranhas controladas por técnicas experimentais: Todas as características estranhas potencialmente relevantes cuja manifestação na amostra é controlada através de interferência do pesquisador: características referentes ao animal não inerentes a sexo (procedência, conformação e estado sanitário inicial), ao ambiente (instalações, clima - temperatura, umidade e luminosidade, incidências de doenças), às técnicas de manejo (suprimento de ração e água, aplicações de vacinas, antibióticos e outros tratamentos sanitários e abate), e aos processos de mensuração e de registro dos dados.

Características estranhas controladas por controle local: Características estranhas referentes a: a) grupos de 4 boxes próximos (principalmente características referentes ao ambiente) e respectivos grupos de 4 animais machos e 4 fêmeas de idades próximas. b) grupos de animais de mesmo sexo, ou seja, características individuais desses animais excluídas as características inerentes ao fator experimental sexo; c) locais, cada um dos quais constituído de 60 boxes e correspondentes 120 animais, excluídas as características não inerentes aos fatores experimentais local e sexo; e d) anos, cada um constituído de 80 boxes e 160 animais, excluídas as características não inerentes aos fatores experimentais ano e sexo. As características estranhas referentes aos locais e aos anos controladas por controle local são aquelas que não são típicas ou permanentes dos locais e anos, respectivamente, ou seja, são as características que variam eventualmente, tais como as referentes a técnicas de manejo, incidências de parasitos, doenças e predadores, e aos processos de mensuração e registro dos dados.

Características estranhas controladas por controle estatístico: peso corporal inicial dos leitões.

Características estranhas casualizadas: Características permanentes dos boxes (referentes às instalações, ao ambiente, etc.) e características estranhas dos correspondentes dois animais (um macho e uma fêmea), dentro de cada grupo de 4 boxes formado pelo controle local.

Características estranhas potencialmente perturbadoras: Conjunto das características estranhas da amostra não controladas pelo controle local e pelo controle estatístico e não casualizadas. (As características estranhas da amostra e dessas as características submetidas a esses procedimentos de controle experimental foram descritas nos parágrafos anteriores.)

Características estranhas perturbadoras: Características potencialmente perturbadoras cuja manifestação seja relevante; por exemplo, temporal, que não é passível de controle de técnicas experimentais, e incidências de predadores e doenças, se o controle de técnicas experimentais não for eficaz.

Erro experimental de uma variável resposta - a) Que afeta inferências referentes ao fator experimental ração: variação dos valores observados da variável resposta entre os boxes que é atribuível às características estranhas e não é controlada pelo controle local (isto é, pelo agrupamento dos boxes e animais); ou seja, variação dos valores da variável resposta entre boxes (ou conjuntos de dois animais) dentro de grupos de boxes, excluídos os componentes atribuíveis à ração. O erro experimental que afeta inferências referentes ao fator experimental ração para um local e ano particulares é o componente daquele erro correspondente a esse local e ano. b) Que afeta inferências referentes ao fator experimental sexo: variação dos valores observados da variável resposta entre os animais que é devida às características estranhas e não é controlada pelo controle local, ou seja, variação dos valores da variável resposta entre os dois animais de um mesmo box que é atribuível às características estranhas. c) Que afeta o fator experimental local (granja): variação entre os valores observados da variável resposta entre os 6 conjuntos de 60 boxes correspondentes aos 6 locais que é atribuível a características estranhas. d) Que afeta inferências referentes ao fator ano: variação entre os valores da variável resposta entre os 3 conjuntos de 80 boxes correspondentes aos 3 anos que é atribuível a características estranhas.

Exercícios de Revisão

1. Explique e ilustre a distinção entre os seguintes conceitos:
 - a) fator de tratamento e fator intrínseco;
 - b) tratamento e condição experimental.
2. Dê um exemplo de experimento com um fator de tratamento e um fator intrínseco e caracterize a distinção entre essas duas classes de fator experimental. Mostre que esses dois fatores satisfazem as propriedades requeridas de um fator experimental.
3. Conceitue as três classes de características da amostra em uma pesquisa experimental.
4. Explique o significado conceitual de:
 - a) material experimental;
 - b) unidade experimental para um fator experimental.
 - c) unidade de observação para uma variável resposta;
5. Para cada uma das duas situações de experimento caracterizadas a seguir identifique a variável resposta mais importante, o fator experimental definido pelos objetivos do experimento e seus níveis na população objetivo e na amostra, a unidade experimental, e a unidade de observação para a característica resposta identificada:
 - a) Para pesquisa dos efeitos da temperatura da água sobre a taxa de eclosão de ovos de truta, um pesquisador coloca porções de ovos em água de diversas temperaturas e registra a percentagem de nascimento de cada uma dessas porções.
 - b) Para um estudo de competição de plantas um ecologista escolhe quatorze ambientes naturais onde não há orquídeas e coloca cada uma de duas espécies de orquídea em doze plantas, e retorna dois anos após para contar o número de plantas de cada uma dessas espécies.
6. Explique o propósito do controle experimental.

7. Quais são os processos de controle experimental que o pesquisador pode utilizar em um experimento? Explique, resumidamente, cada um desses processos.
8. Ilustre a aplicação dos processos de controle experimental através de um exemplo de experimento de sua área.
9. Explique o propósito do controle de técnicas experimentais. Que inconvenientes podem resultar deste método de controle experimental?
10. Qual é a implicação da escolha de material experimental homogêneo quanto à representação da população objetivo?
11. Ilustre, através do exemplo utilizado na resposta ao exercício 8, como o emprego do controle de técnicas experimentais pode controlar totalmente ou parcialmente o confundimento do efeito de características estranhas com o efeito atribuível a um fator experimental.
12. Qual é o propósito do controle local? Quais são suas implicações quanto ao procedimento de atribuição dos tratamentos às unidades experimentais?
13. Qual é o propósito do controle estatístico? Como ele é implementado? Ilustre através de um experimento de sua área.
14. Qual inovação introduzida por Fisher é considerada princípio fundamental da pesquisa experimental?
15. Explique e ilustre o controle experimental exercido pela casualização. Qual é seu propósito?
16. Explique o que significa a casualização de técnicas experimentais. Porque ela, embora não tenha implicações negativas, não é recomendável para a adoção na implementação de todas as técnicas experimentais exercidas em um experimento?
17. Qual é a consequência da casualização de características estranhas para a grandeza e a não tendenciosidade do erro experimental?
18. Indique para cada um dos procedimentos listados na primeira coluna o(s) propósito(s) que o pesquisador visa para o erro experimental, através do preenchimento dos números apropriados entre parênteses na segunda coluna, entre os indicados na primeira coluna.

Procedimento	Propósito para a estimativa do erro experimental
1 - Controle local	() Diminuição de sua estimativa
2 - Controle estatístico	() Aumento de sua estimativa
3 - Casualização de características estranhas	() Estimação não tendenciosa
4 - Controle de técnicas experimentais	() Estimação tendenciosa
5 - Aumento da abrangência espacial e temporal da amostra	() Nenhum

19. Indique para cada um dos procedimentos listados na primeira coluna as implicações que podem decorrer para a representação da população objetivo pela amostra, preenchendo os números apropriados entre parênteses na segunda coluna, entre as indicadas na primeira coluna.

Procedimento	Implicação para a representação da população objetivo pela amostra
1 - Controle local	() Diminuição
2 - Controle estatístico	() Aumento
3 - Casualização de características estranhas	() Nenhuma
4 - Controle de técnicas experimentais	
5 - Aumento da abrangência espacial e temporal da amostra	

20. Conceitue as três seguintes subclasses da classe das características estranhas da amostra: características controladas, características casualizadas e características potencialmente perturbadoras.
21. O que é uma característica estranha perturbadora em um experimento?
22. Qual é a consequência da ocorrência de uma característica estranha perturbadora para a grandeza e a não tendenciosidade do erro experimental?
23. Considere um experimento com o propósito de pesquisar o efeito do tamanho da semente de soja sobre a qualidade fisiológica da semente após um período de armazenamento, com o seguinte procedimento: 1) as sementes de um lote de cada uma de 5 procedências são classificadas em 4 distintos tamanhos; 2) de cada uma dessas 20 porções de sementes é extraído 1 kg de sementes que é acondicionado em um saquinho; 3) esses 20 saquinhos de sementes são postos em armazenamento em um ambiente uniforme por um período de 6 meses; 4) ao final desse período, é extraída uma amostra de 3 frações de 100 sementes de cada um dos 20 saquinhos; 5) cada uma dessas 60 frações de sementes é submetida individualmente à teste de germinação.
- a) Identifique a unidade de observação para a variável resposta percentagem de germinação.
- b) Caracterize a unidade experimental para o fator experimental tamanho da semente.
24. A seguir são caracterizados quatro experimentos que estão sendo planejados para execução:
- A - "Efeito do tratamento de semente de cebola com fungicida sobre a produção de bulbos", com a consideração dos seguintes três fungicidas: Phygon, Dithane e Thylate e um tratamento controle - sem fungicida. O experimento será conduzido em uma unidade de pesquisa, em uma única oportunidade. Serão utilizadas sementes de cebola de um lote homogêneo, semeadas em vinte e quatro parcelas de campo de 10m², supostamente heterogêneas, mas que serão agrupadas em seis grupos de quatro parcelas contíguas. Três porções de semente, cada porção tratada com um dos três distintos fungicidas serão atribuídos aleatoriamente a três das quatro parcelas de cada um dos seis grupos de parcelas; a restante parcela de cada um desses grupos receberá semente não tratada.
- B - "Efeito da adição de farelo de arroz desengordurado em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação". A partir de uma ração básica, serão formuladas três diferentes rações, com 0, 20 e 40% de farelo de arroz desengordurado. O experimento será conduzido em 4 granjas durante 3 anos. Em cada granja e em cada ano, serão utilizados 24 leitões mestiços machos Landrace x Large White, de diversas procedências, mas que serão classificados em 8 grupos 3 de animais suficientemente homogêneos. Durante a execução do experimento, os animais serão mantidos em boxes individuais, em ambiente heterogêneo, mas os boxes serão classificados em 8 grupos de 3 boxes uniformes. Em cada granja e em cada um dos anos, os animais serão assinalados aleatoriamente aos boxes de modo que animais de um mesmo grupo resultem em um grupo de boxes. As 3 rações serão atribuídas aleatoriamente aos 3 boxes de cada um dos 8 grupos de boxes e correspondentes animais uniformes, através de sorteio realizado separada e independentemente para cada grupo.
- C - "Controle da incidência de mastite bovina em rebanhos de gado de leite da Bacia Leiteira de Pelotas", com os seguintes quatro tratamentos: 1 - Tetraciclina, 2 - Gentamicina, 3 - Ampicilina e 4 - Sem antibiótico. O experimento será conduzido em 3 granjas durante 3 anos. Em cada granja, em cada ano, serão utilizadas 24 vacas de diferentes idades, mas que serão classificados em 6 grupos de 4 vacas, cada grupo constituído por animais uniformes quanto à idade. Durante a fase experimental, os 24 animais serão mantidos em um mesmo ambiente e sob mesmas condições de alimentação e manejo. Em cada granja e em cada um dos anos, os 4 tratamentos serão assinalados aleatoriamente às 4 vacas de cada um dos 6 grupos de animais de mesma idade, através de sorteio realizado separada e independentemente para cada grupo.
- D - "Efeito do desbaste sobre a qualidade de frutos de pessegueiro para consumo *in natura*", com os seguintes quatro tratamentos: 1 - 10% de desbaste, 2 - 20% de desbaste, 3 - 30% de desbaste e 4 - Sem desbaste. O experimento será conduzido em 3 pomares da região produtora de Pelotas durante 3 anos. Em cada pomar, em cada ano, serão utilizadas 24 plantas adultas de diferentes níveis de vigor, mas que serão classificados em 6 grupos de

4 plantas, cada grupo constituído por plantas uniformes quanto ao vigor. Em cada pomar e em cada um dos anos, os 4 tratamentos serão assinalados aleatoriamente às 4 plantas de cada um dos 6 grupos de plantas de mesmo vigor, através de sorteio realizado separada e independentemente para cada grupo.

Para um desses quatro experimentos de sua escolha caracterize o seguinte:

- a) o problema científico que poderia ter originado o experimento;
 - b) a correspondente hipótese científica;
 - c) as características respostas relevantes;
 - d) os fatores experimentais e os correspondentes níveis na população objetivo e na amostra;
 - e) os grandes agregados de características estranhas da amostra;
 - f) o material experimental;
 - g) a unidade de observação para cada variável resposta;
 - h) a unidade experimental para cada fator experimental;
 - i) as características estranhas que devam ser sujeitas a controle de técnicas experimentais;
 - j) as características estranhas que devam ser controladas através de controle local e de controle estatístico, se for o caso;
 - k) as características estranhas casualizadas;
 - l) as características estranhas potencialmente perturbadoras;
 - m) as características estranhas potencialmente perturbadoras com mais potencial de se tornarem perturbadoras;
 - n) as características estranhas potencialmente perturbadoras que o pesquisador pode esperar que se comportem como casualizadas;
 - o) as fontes do erro experimental.
25. Suponha que um pesquisador planeja conduzir um experimento para determinar o efeito da pastagem melhorada sobre o ganho de peso de ovinos em pastoreio no período de março a agosto, com dois tratamentos: 1 - pastagem cultivada e 2 - pastagem nativa. O plano do experimento prevê o uso de 60 animais machos da raça Corriedale e dois poteiros cada um com capacidade para 30 animais. Um dos poteiros é de campo natural (pastagem nativa) e o outro de pastagem melhorada (pastagem cultivada). Os 60 animais serão distribuídos 30 a cada um dos dois poteiros. Suponha que os 60 cordeiros são razoavelmente uniformes, de modo que o controle local de características individuais dos animais seja julgado desnecessário.
- a) Identifique o fator experimental indicado pelo objetivo do experimento e os correspondentes níveis na população objetivo e na amostra.
 - b) Identifique a unidade de observação para a variável resposta ganho de peso.
 - c) Identifique a unidade experimental para o fator experimental identificado na resposta à questão a) e a descreva de modo completo.
 - d) Quantas repetições o plano desse experimento prevê para cada um dos tratamentos?
 - e) Para esse plano de experimento, qual seria a origem do erro experimental que afeta o fator experimental pastagem? Esse plano proveria uma estimativa desse erro experimental?
 - f) Explique porque a variação do ganho de peso individual dos animais dentro de poteiros não seria uma estimativa válida (ou seja, não tendenciosa) do erro experimental para a comparação dos dois tratamentos.
26. Descreva situações de experimentos de sua área em que possa ser importante considerar co-variáveis explanatórias.
27. Ilustre uma situação em que a análise da co-variação com uma variável resposta intermediária como co-variável pode esclarecer a origem do efeito dos fatores experimentais sobre uma variável resposta.
28. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
- a) Em um experimento, uma característica explanatória é designada.....
 Se os níveis dessa característica são aplicados às unidades da

- amostra sob controle do pesquisador ela é denominada
 Os níveis dessa característica são denominados Se os níveis são inerentes às unidades, ou seja, se eles se manifestam nas unidades fora do controle do pesquisador ou sob seu controle limitado, a característica explanatória é designada Nessa última situação e de modo mais geral, os níveis de uma característica explanatória recebem a designação de
- b) O compreende as características explanatórias, as características estranhas e as características respostas da amostra. A para um fator experimental é a maior fração do material experimental que recebe ou manifesta um nível desse fator independentemente das demais frações. Por outro lado, a para uma variável resposta é a menor fração do material experimental em que é mensurado e registrado um valor dessa variável resposta.
- c) O é o conjunto das ações exercidas pelo pesquisador para o controle da amostra, ou seja, o controle do erro experimental. Os processos para esse propósito são: e O permite tornar constante ou reduzir a variação das características respostas que é atribuível a características estranhas. O e o não interferem na constituição da amostra, mas permitem separar a variação devida às características estranhas controladas da variação atribuível aos fatores experimentais e do erro experimental para inferências referentes a esses fatores. A não altera as grandezas da estimativa do erro experimental e do confundimento da variação atribuível aos fatores experimentais com a variação devida a características estranhas; entretanto, permite torná-los não tendenciosos.
- d) Segundo o processo de controle experimental a que são submetidas, as características estranhas da amostra são classificadas em características características e características Essa última classe de características estranhas, por sua vez, compreende duas subclasses: características estranhas e características estranhas O erro experimental é constituído pelas características estranhas e
- e) O de uma variável resposta que afeta inferências referentes a um fator experimental é a variação dos valores observados dessa variável resposta nas correspondentes unidades experimentais que é atribuível a características estranhas que não são controladas por e A variação devida à inabilidade de reprodução exata dos tratamentos nas unidades experimentais é denominada
29. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () O experimento é o único método de pesquisa em que o pesquisador tem controle sobre a manifestação de características explanatórias na amostra.
 - 2 () Fator de tratamento é um fator experimental cujos níveis são assinalados às unidades da amostra sob o controle do pesquisador.
 - 3 () Os níveis de um fator de tratamento devem ser atribuídos às unidades da amostra por processo objetivo aleatório.
 - 4 () O pesquisador tem controle absoluto sobre a manifestação dos tratamentos nas unidades experimentais.
 - 5 () Um fator experimental pode ter seus níveis manifestados nas unidades da amostra fora do controle do pesquisador.
 - 6 () As combinações dos níveis de um fator experimental são denominadas tratamentos.

- 7 () Se os valores observados de uma variável resposta em duas unidades experimentais com dois distintos tratamentos são diferentes, o pesquisador pode atribuir tal resultado, inequivocamente, a diferenças reais entre os efeitos dos dois tratamentos.
- 8 () Os efeitos de fatores experimentais sobre variáveis respostas podem ser separados dos efeitos atribuíveis a características estranhas.
- 9 () O material experimental compreende as três classes de características da amostra, ou seja, características respostas, características explanatórias e características estranhas.
- 10 () Em um experimento, a unidade da amostra é sempre uma unidade da população objetivo.
- 11 () A identificação da unidade de observação depende da variável resposta.
- 12 () Unidade de observação, unidade experimental e unidade da amostra significam a mesma coisa.
- 13 () A unidade experimental pode ser caracterizada de modo completo pelo seu componente mais relevante, como um animal, uma planta, um conjunto de animais ou de plantas, um poteiro, um boxe, uma fração de terreno.
- 14 () Em experimentos agrícolas de campo, a unidade experimental é constituída exclusivamente pelas características inerentes ao solo.
- 15 () A unidade experimental é constituída exclusivamente por características estranhas.
- 16 () Em um experimento com dois ou mais fatores experimentais as unidades experimentais são as mesmas para todos os fatores.
- 17 () O número de repetições de um tratamento é o número de unidades de observação com esse tratamento.
- 18 () O número de repetições de uma condição experimental é o número de unidades experimentais com essa condição experimental.
- 19 () O erro experimental resulta do confundimento dos efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas.
- 20 () O controle experimental necessariamente implica em alteração da manifestação de características estranhas da amostra.
- 21 () O controle de uma característica estranha através de técnicas experimentais torna nulo seu efeito sobre a variação das variáveis respostas.
- 22 () Características estranhas controladas por técnica experimental não se manifestam na amostra.
- 23 () O controle local e o controle estatístico podem prejudicar a representação da população objetivo pela amostra.
- 24 () O controle local e o controle estatístico são dois procedimentos alternativos para a redução da estimativa da variação casual para inferências referentes a fatores experimentais.
- 25 () Qualquer característica estranha da amostra pode ser submetida ao controle experimental exercido pela casualização.
- 26 () A casualização na atribuição dos níveis de um fator de tratamento às correspondentes unidades experimentais tem o propósito de reduzir o confundimento da variação atribuível a esse fator com a variação devida a características estranhas.
- 27 () A casualização também pode ser utilizada na implementação de técnicas experimentais cujos efeitos sobre características respostas possam resultar confundidos de modo tendencioso com efeitos de fatores experimentais.
- 28 () A variação atribuível a um fator experimental não fica confundida com a variação atribuível a características estranhas controladas por controle local ou controle estatístico ou casualizadas.
- 29 () Todas as características estranhas relevantes do material experimental que não são controladas por controle local e controle estatístico e não são casualizadas podem ser controladas por técnicas experimentais.

- 30 () O controle local e o controle de técnicas experimentais têm as mesmas implicações sobre a constituição da amostra.
- 31 () Características estranhas controladas por controle local ou por controle estatístico são separadas do erro experimental global.
- 32 () A casualização de características estranhas permite a diminuição da variação atribuível ao erro experimental.
- 33 () Efeitos de características estranhas casualizadas não ficam confundidos de modo tendencioso com efeitos de fatores experimentais.
- 34 () O erro experimental também é denominado erro aleatório ou erro casual porque é constituído exclusivamente por características estranhas casualizadas.
- 35 () O erro experimental é constituído exclusivamente pelas características estranhas casualizadas e pelas características estranhas potencialmente perturbadoras.
- 36 () Características estranhas perturbadoras inflacionam tendenciosamente as estimativas do erro experimental e de efeitos atribuíveis a fatores experimentais.
- 37 () Em algumas circunstâncias, a presença de características estranhas perturbadoras pode ser controlada por controle estatístico.
- 38 () O erro experimental que afeta inferências referentes a um fator experimental provém da variação dos valores observados da variável resposta entre as unidades experimentais para esse fator que é atribuível a características estranhas.
- 39 () Em experimentos com mais de uma unidade de observação na unidade experimental elementar a consideração do erro de observação é irrelevante para inferências referentes a fatores experimentais.
- 40 () O erro de tratamento é a variação dos valores observados da variável resposta entre as unidades experimentais com um mesmo tratamento.
- 41 () A variação do efeito de um tratamento entre diferentes unidades experimentais é atribuível exclusivamente a características estranhas.
- 42 () Diferenças de respostas em unidades experimentais com um mesmo tratamento podem decorrer de variação do efeito do tratamento entre diferentes unidades experimentais, ou seja, da interação entre tratamentos e unidades experimentais.

Conceitos e Termos Chave

- Fator experimental
- Tratamento
- Condição experimental
- Unidade experimental para um fator de tratamento
- Unidade experimental para um fator experimental
- Formação de unidades experimentais
- Número de repetições de uma condição experimental
- Erro experimental global
- Controle de técnicas experimentais
- Fator de unidade
- Co-variável estranha
- Casualização na atribuição dos
- Fator experimental de tratamento
- Fator experimental intrínseco
- Material experimental
- Unidade experimental para um fator intrínseco
- Unidade experimental elementar
- Repetições de uma condição experimental
- Unidade de observação para uma característica resposta
- Controle experimental
- Controle local
- Controle estatístico
- Casualização
- Casualização na implementação de

- | | |
|---|---|
| tratamentos | técnicas experimentais |
| • Característica estranha controlada | • Característica estranha casualizada |
| • Característica estranha potencialmente perturbadora | • Característica estranha perturbadora |
| • Erro aleatório / erro casual | • Erro de condição experimental |
| • Erro de tratamento | • Erro de especificação |
| • Estrato do erro experimental | • Erro experimental que afeta um fator experimental |
| • Erro de observação | • Erro de amostragem |
| • Co-variável explanatória | |

Bibliografia

- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- FEDERER, W. T. **Statistics and society, data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- FINNEY, D. J. **An introduction to statistical science in agriculture**. 4.ed. Copenhagen: Scandinavian University Books, 1972. 290p.
- KEMPTHORNE, O. Why randomize? **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.1, p.1-25, 1977.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. Huntigton, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979. 631 p.
- KEMPTHORNE, O. Sampling inference, experimental inference and observation inference. **Sankhya**, 40, Serie B, Parts 3 and 4, p.115-145, 1979.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. v.1, 495p.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**, versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, 1996. 427p.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of Statistics: A biometrical approach**. 3. ed. Boston: McGraw Hill, 1997. 666p
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

6 Planejamento do Experimento e Delineamento Experimental: Requisitos e Princípios Básicos

Conteúdo

6.1	Introdução.....	206
6.2	Planejamento do Experimento e Delineamento Experimental.....	207
6.3	A Lógica da Inferência sobre Causalidade.....	208
6.4	Efeitos de Fatores Experimentais	210
6.5	Requisitos do Plano do Experimento	211
6.5.1	Estabelecimento do plano antes do início da execução do experimento	211
6.5.2	Estimação dos erros que afetam efeitos de fatores experimentais.....	212
6.5.3	Precisão	213
	Origens da imprecisão	215
	Ações para o aumento da precisão.....	215
6.5.4	Validade	222
9.1.1.1	Validade interna.....	224
	Origens do viés interno	225
	Ações para o aumento da validade interna	225
9.1.1.2	Validade externa.....	228
	Origens do viés externo	229
	Ações para o aumento da validade externa	229
9.1.1.3	Relação entre validade interna, validade externa e precisão	232
6.5.5	Simplicidade, economia de recursos e exequibilidade.....	235
6.5.6	Manifestação dos efeitos reais dos tratamentos.....	236
6.5.7	Previsão dos procedimentos de inferência estatística e provimento de medida de incerteza das inferências.....	238
6.6	Princípios Básicos do Delineamento do Experimento	242
6.6.1	Repetição	243
6.6.2	Controle local	246
6.6.3	Casualização.....	248
6.6.4	Ortogonalidade.....	252
6.6.5	Balanceamento	254
6.6.6	Confundimento.....	259
6.6.7	Eficiência.....	261
	Exercícios de Revisão	265
	Conceitos e Termos Chave	271
	Bibliografia.....	271

6.1 Introdução

O plano do experimento e particularmente o delineamento experimental devem garantir as propriedades necessárias para a derivação das inferências que constituem o objeto do experimento. Não há um conjunto de regras e procedimentos que garanta a elaboração de um plano de experimento que cumpra essas exigências. Entretanto, a observância de alguns requisitos e princípios básicos é fundamental para o sucesso de qualquer experimento.

A partir das contribuições relevantes de Fisher, muitos delineamentos experimentais foram desenvolvidos para as mais variadas situações. Esses delineamentos têm sido extensivamente utilizados e se tornaram tradicionais em muitas áreas de pesquisa.

A exposição desses delineamentos clássicos é comum em textos de Estatística Experimental. A ampla difusão desses delineamentos os tornou amplamente acessíveis aos pesquisadores. Em particular, a disponibilidade de esquemas de delineamentos experimentais mais complexos tem facilitado sua utilização. Outra razão da tendência generalizada do uso desses delineamentos é a facilidade propiciada para a análise de dados, cujas receitas também foram amplamente difundidas e se tornaram de grande importância na época em que as facilidades para o processamento de análises estatísticas eram precárias.

Entretanto, esses delineamentos são freqüentemente mal utilizados, por diversas razões, entre elas a pouca compreensão de suas implicações. Tornou-se comum a tendência do pesquisador adaptar o plano de sua pesquisa aos delineamentos experimentais disponíveis. Como conseqüência, é freqüente a utilização de delineamentos inadequados para os propósitos e condições do experimento.

As facilidades atuais de computação não mais justificam a tendência do uso de delineamentos para os quais são disponíveis receitas de cálculo facilmente executáveis. Esses recursos tornaram viável a utilização do delineamento experimental mais apropriado para cada situação particular e, conseqüentemente, o planejamento de experimentos mais eficientes. Entretanto, a adoção dessa nova abordagem requer a compreensão dos requisitos do plano do experimento e dos princípios básicos do delineamento experimental.

Este Capítulo constitui uma introdução aos tópicos que são tratados nos capítulos que seguem. Considera as bases e o processo para derivação de inferências do experimento, e trata das propriedades requeridas do plano do experimento e, particularmente, do delineamento experimental. A **Seção 6.2** estabelece a definição de delineamento experimental e apresenta uma estratégia para sua geração. A **Seção 6.3** descreve o procedimento lógico para inferências referentes a relações causais de características, que constituem o propósito do experimento. Na **Seção 6.4** são apresentados e ilustrados conceitos referentes a efeito de fatores experimentais que são freqüentemente utilizados no texto. A **Seção 6.5** trata das propriedades requeridas do plano do experimento. O tema da **Seção 6.6** são as propriedades importantes ou princípios básicos do delineamento experimental que são demandadas pelos requisitos do plano do experimento.

A obediência a esses requisitos e princípios permite ao pesquisador elaborar o plano e o delineamento mais apropriados para cada experimento particular. Entretanto, a aplicação correta desses requisitos e princípios requer suas compreensões plenas e cuidados especiais. Por essa razão, a participação do estatístico na fase do planejamento do experimento é altamente relevante.

6.2 Planejamento do Experimento e Delineamento Experimental

O objetivo do experimento é a derivação de inferências referentes a relações causais entre as características respostas relevantes e as características explanatórias que são definidas pelo problema e pela hipótese científica. Essas inferências são baseadas em uma amostra onde também estão presentes as características estranhas cujos efeitos sobre as características respostas ficam confundidos com efeitos das características explanatórias. Assim, essas inferências devem basear-se nos efeitos dessas duas origens e, particularmente, na relação entre esses efeitos.

O planejamento do experimento, particularmente o planejamento da amostra, compreende, essencialmente, o planejamento dessas três classes de características e o planejamento da relação entre as características explanatórias e as características estranhas, que tem implicações para os efeitos manifestados pelas características respostas. Esses quatro segmentos do planejamento do experimento são considerados nos próximos quatro capítulos, como indicado a seguir:

- planejamento das características respostas - **Capítulo 7**,
- planejamento das características explanatórias - **Capítulo 8**,
- planejamento das característica estranhas - **Capítulo 9** e
- planejamento da relação entre as características explanatórias e as características estranhas - **Capítulo 10**.

Esses planejamentos determinam a **estrutura da resposta**, a **estrutura das condições experimentais**, a **estrutura das unidades** e a relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades, que constitui a **estrutura do experimento**. As especificações dessas estruturas e relações estabelecem o delineamento do experimento.

O **delineamento do experimento** compreende as especificações:

- a) das variáveis respostas,
- b) da estrutura das condições experimentais,
- c) da estrutura das unidades, e
- d) da relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades.

A designação **delineamento de experimento** ou **delineamento experimental** também é usada com o significado mais estrito da forma de associação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades.

A estrutura das condições experimentais deve ser estabelecida em consonância com os objetivos do experimento, enquanto que a estrutura das unidades é elaborada segundo as possibilidades de material experimental. A **Figura 6.1** ilustra as relações implicativas dos objetivos do experimento para a estrutura das condições experimentais e do material experimental para a estrutura das unidades, a inter-relação dessas duas estruturas que constitui a estrutura do experimento, e a geração do delineamento experimental.

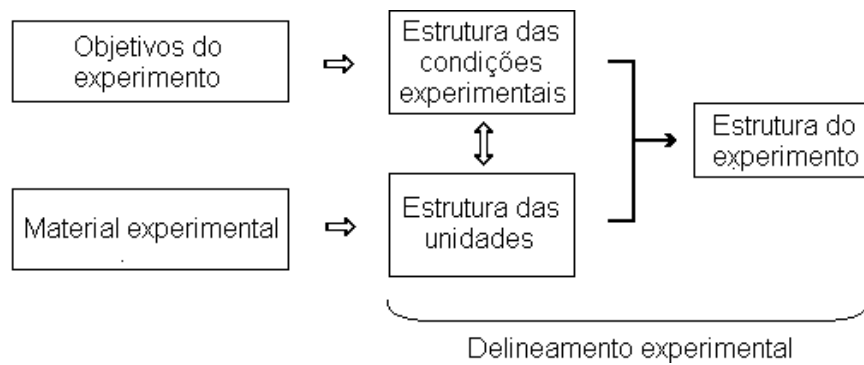


Figura 6.1. Diagrama que ilustra a geração do delineamento do experimento.

A inter-relação ou associação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades é estabelecida pela atribuição dos níveis dos fatores de tratamento e a manifestação dos níveis dos fatores intrínsecos nas unidades do material experimental.

Em geral, é conveniente que os planejamentos da estrutura das condições experimentais e da estrutura das unidades sejam procedidos separadamente. Esse procedimento é recomendável para que a estrutura do experimento seja expressa corretamente, particularmente em experimentos complexos. Entretanto, a estrutura das condições experimentais é condicionada à disponibilidade de material experimental e a estrutura das unidades deve ser apropriada para a estrutura das condições experimentais. Nessas circunstâncias, essas duas estruturas são altamente interdependentes. Uma estratégia racional para a geração do delineamento experimental compreende a seguinte seqüência de passos:

1 - Elaborar a estrutura das condições experimentais tendo em conta as restrições de material experimental.

2 - Considerar as estruturas de unidades alternativas para essa estrutura de condições experimentais.

3 - Escolher, entre essas estruturas de unidades alternativas, aquela que, associada à estrutura das condições experimentais, permita inferências mais eficientes referentes aos efeitos dos fatores experimentais relevantes para os objetivos do experimento.

4 - Caso não seja encontrada uma estrutura de unidades satisfatória, reconsiderar a seqüência de passos 1, 2 e 3.

Os passos 1 e 2 podem conduzir à formulação de diversas estruturas de experimento. Como regra geral, o pesquisador deve escolher o delineamento experimental que proveja o máximo de informação relevante aos objetivos do experimento com o custo mínimo. Para tal devem ser levados em conta os requisitos do plano do experimento e os princípios básicos do delineamento do experimento. Esses são os temas das **Seções 6.5 e 6.6**.

6.3 A Lógica da Inferência sobre Causalidade

O propósito do experimento é inferir se fatores experimentais causam efeitos sobre variáveis respostas nas unidades da população objetivo. Essas inferências são baseadas em uma amostra constituída durante a execução do experimento, onde estão presente fatores experimentais e, também, características estranhas. Para estabelecer a existência de efeito causal de um fator experimental sobre uma característica resposta são requeridas três condições (**Seção 3.4.1**): a) o fator experimental e a característica

resposta variam conjuntamente; b) o fator experimental precede a característica resposta; e c) não há explicação plausível para a variação da característica resposta que não inclua efeito do fator experimental. A primeira condição é estabelecida por procedimentos de inferência estatística. A segunda condição é justificada para fator experimental, por definição: níveis de fator experimental são aplicados ou manifestam-se nas unidades experimentais previamente à mensuração das características respostas.

A questão crítica é a terceira condição, ou seja, a garantia de que a variação dos valores observados da variável resposta em unidades com níveis diferentes de fatores experimentais não possa ser atribuível exclusivamente a características estranhas.

A variação dos valores observados de uma variável resposta em unidades experimentais diferentes pode ter duas origens: características explanatórias e características estranhas. Isso significa que, se valores observados em unidades experimentais com diferentes níveis de fatores experimentais variam, há duas possibilidades de explicação para a origem dessa variação: 1) efeitos de fatores experimentais e efeitos de características estranhas ou 2) efeitos apenas de características estranhas. O caminho a seguir é determinar o quanto essa segunda possibilidade é inverossímil. Se ela for muito inverossímil, então se pode ter confiança de que a variação manifestada pelos valores observados da variável resposta seja devida, pelo menos em parte, a efeitos de fatores experimentais. Ocasionalmente essa confiança da existência de efeitos de fatores experimentais pode ser falsa. Se algumas condições são satisfeitas, a chance de que essa confiança seja incorreta (ou correta) pode ser expressa em termos de probabilidade através da utilização de métodos estatísticos.

Na situação mais simples de experimento com um único fator experimental, o procedimento para a determinação da probabilidade de que a variação dos valores observados da variável resposta em unidades experimentais com tratamentos diferentes seja devida, pelo menos em parte, a efeitos de tratamentos consiste, inicialmente, em estabelecer que o plano do experimento proveja a identificação de duas origens ou fontes daquela variação: uma fonte que tenha a seguinte composição:

- 1) efeito das diferenças de tratamentos e
- 2) efeito das características estranhas, ou seja, efeito do erro experimental;

e uma fonte de variação que compreenda apenas efeito do erro experimental e que tenha essencialmente a mesma composição de características estranhas do erro experimental da primeira fonte. Isso significa que esses dois efeitos do erro experimental não podem diferir por qualquer variação estranha relevante.

Nessa situação particular a primeira fonte de variação são as unidades experimentais com tratamentos diferentes; a segunda, as unidades experimentais com mesmo tratamento.

Então, contanto que os componentes devidos ao erro experimental nas duas fontes de variação sejam aleatórios e que a diferença entre esses dois componentes também seja aleatória, o método estatístico apropriado provê a estimativa da probabilidade de que a diferença entre essas duas fontes da variação seja devida ao acaso. Se for evidenciado como muito improvável que tal diferença seja inteiramente devida ao acaso, então se poderá concluir que pelo menos em parte essa diferença seja devida a efeitos de tratamentos. Entretanto, se a diferença entre as duas fontes de variação não for maior do que poderia ser esperado apenas pelo acaso, não se poderá concluir que inexistam diferenças de efeitos de tratamentos, já que aquele resultado poderia decorrer do fato da variação às diferenças de tratamentos ser menor do que a diferença aleatória entre os efeitos do erro experimental nas duas fontes.

Esse argumento estende-se para inferências referentes a qualquer efeito de fatores experimentais:

O **procedimento para inferências referentes a um efeito de fatores experimentais** consiste, basicamente, em comparar o componente da variação dos valores observados da variável resposta que inclua esse efeito em sua origem com um outro componente que expresse os mesmos efeitos, com exceção daquele efeito de fatores experimentais. Se o primeiro componente da variação revela-se maior do que o segundo por diferença que não possa ser originada apenas de variação aleatória, atribui-se tal superioridade à existência real do efeito de fatores experimentais. Esse segundo componente da variação é o **erro** que afeta esse efeito de fatores experimentais.

6.4 Efeitos de Fatores Experimentais

Efeitos populacionais de fatores experimentais, ou seja, efeitos de fatores experimentais na população objetivo são de vários tipos e dependem dos fatores e de seus níveis.

Em experimentos com um único fator experimental os efeitos populacionais são: a) efeito global do fator, ou seja, variação da resposta entre os níveis do fator e b) diferenças (comparações) entre esses níveis ou variabilidade da resposta entre esses níveis. O **Exemplo 6.1** provê ilustrações.

Exemplo 6.1

a) Em um experimento sobre o controle da giberela em lavouras de trigo com um fator: fungicida com os quatro níveis: 1 - Mancozeb, 2 - Ciproconazole, 3 - Propiconazole e 4 - sem fungicida são de interesse: i) o efeito global do fator fungicida, ou seja, a variação da resposta entre os quatro níveis desse fator, e ii) comparações particulares da resposta desses níveis; por exemplo, a comparação que exprime o efeito da aplicação de fungicida, ou seja, a comparação dos tratamentos com fungicida (tratamentos 1, 2 e 3) com o tratamento sem fungicida (tratamento 4).

b) Em um experimento para pesquisa da resistência à brusone de linhagens originadas do cruzamento de duas cultivares de arroz há interesse na variabilidade do grau de infecção das plantas entre as cultivares.

Em experimentos com dois ou mais fatores experimentais há uma gama maior de efeitos populacionais que podem ser de interesse:

a) **efeitos principais** de um fator - efeitos de um fator globais para os níveis dos demais fatores;

b) **efeitos simples** de um fator - efeitos de um fator para cada nível particular de outro fator ou para cada combinação particular dos níveis de outros fatores;

c) **interação de efeitos** de dois fatores - interferência do efeito de um dos fatores sobre o efeito do outro fator;

d) interação de efeitos de três ou mais fatores - no caso de três fatores: interferência do efeito de um dos fatores sobre a interação dos outros dois fatores; esse conceito generaliza-se para mais de três fatores; e

e) diferenças (comparações) ou variabilidade da resposta entre os níveis de um fator globais para os níveis dos demais fatores, ou entre os níveis de um fator para cada um dos níveis particulares de outro fator ou para cada uma das combinações de níveis particular dos demais fatores.

Exemplo 6.2

a) Considere-se um experimento sobre o efeito de cobertura plástica no cultivo de alface com dois fatores experimentais: cobertura, com dois níveis: 1 - sem e 2 - com, e cultivar com 4

níveis 1 - Kagraner, 2 - Regina, 3 - Great Lakes e 4 - Brisa. A associação de cada um dos 2 níveis do fator cobertura plástica com cada um dos 4 níveis do fato cultivar constitui $4 \times 2 = 8$ combinações de níveis.

O efeito principal do fator cultivar é a variação da resposta entre as 4 cultivares global ou média para os 2 níveis do fator cobertura plástica; o efeito simples do fator cultivar para o nível 1 do fator cobertura plástica, ou seja, sem cobertura, é a variação da resposta entre as 4 cultivares para ausência de cobertura plástica; a interação dos efeitos de cobertura plástica e cultivar é a variação do efeito de cobertura plástica entre as 4 cultivares, ou, equivalentemente, a variação do efeito do fator cultivar entre sem e com cobertura plástica.

b) Seja um experimento sobre o efeito da raça e do reprodutor sobre características referentes à reprodução de bovinos de corte com três níveis do fator raça: 1 - Ibagé, 2 - Nelore e 3 - Aberdeen Angus com a consideração de 8 reprodutores de cada uma dessas raças. As combinações dos 8 níveis do fator reprodutor com as 3 raças constituem 24 combinações de níveis.

O efeito principal do fator raça é a variação da resposta entre as 3 raças global ou média para os 8 reprodutores das respectivas raças; o efeito simples do fator reprodutor para uma raça particular é a variação da resposta entre os 8 animais dessa raça. Observe-se que, como os níveis do fator reprodutor não se repetem entre as raças, não têm sentido e esse experimento não provê inferências referentes a efeitos simples do fator reprodutor e à interação dos efeitos dos fatores raça e reprodutor.

Em geral efeitos de fatores experimentais na população objetivo são desconhecidos. O propósito do experimento é derivar inferências referentes a esses efeitos populacionais com base nos efeitos correspondentes que se manifestam na amostra. Estes efeitos são determinados a partir dos valores observados da variável resposta nas unidades da amostra e constituem aproximações ou **estimativas** dos efeitos populacionais desconhecidos.

6.5 Requisitos do Plano do Experimento

O experimento deve prover as inferências relevantes a seus objetivos ao custo mínimo. Para esse propósito o plano do experimento deve satisfazer as seguintes propriedades ou requisitos essenciais:

- estabelecimento do plano antes do início da execução do experimento,
- estimação dos erros que afetam efeitos de fatores experimentais,
- precisão,
- validade:
- simplicidade, economia de recursos e exeqüibilidade
- manifestação dos efeitos reais dos tratamentos e
- previsão dos procedimentos de inferência estatística e provimento de medida de incerteza.

Esses requisitos podem parecer óbvios, mas é surpreendente como são freqüentemente subestimados ou ignorados. As conseqüências são falhas de planos de experimentos que implicam desperdícios de recursos e de tempo. Esses requisitos são considerados a seguir.

6.5.1 Estabelecimento do plano antes do início da execução do experimento

O planejamento requer a especificação prévia, detalhada e clara dos objetivos do experimento (**Seção 4.4.1**). Isso é necessário para que as definições referentes aos passos seguintes do processo do experimento (**Seções 4.4 e 4.7**) possam ser tomadas de modo objetivo e coerente para a consecução desses objetivos.

O plano do experimento deve ser formulado detalhadamente e descrito em um protocolo apropriado de modo suficientemente claro para que todas as decisões e ações necessárias até a derivação das inferências sejam previstas. Esse tema foi considerado nas **Seções 4.4 a 4.7**. Entretanto, é relevante reiterar que o planejamento cuidadoso é necessário para que sejam evitadas ulteriores surpresas e decisões inadequadas que conduzam a prejuízos para o experimento. Particularmente, o plano deve prever os recursos necessários e os momentos em que deverão estar disponíveis. Se esses recursos não forem disponíveis ou se forem insuficientes para que o experimento seja conduzido de modo a satisfazer os requisitos necessários para a geração das inferências que constituem seu objetivo, a execução do experimento não deve ser iniciada. Nesse caso os objetivos do experimento devem ser revisados para torná-lo exeqüível, ou o experimento não deve ser realizado.

6.5.2 Estimação dos erros que afetam efeitos de fatores experimentais

Para a derivação de inferências referentes a um efeito de fatores experimentais o experimento deve prover estimativas de duas fontes de variação dos valores da variável resposta: a) uma estimativa que exprima esse efeito e o efeito das características estranhas com ele confundidas, e b) uma estimativa desse efeito de características estranhas, ou seja, uma estimativa do erro que afeta aquele efeito de fatores experimentais (**Seção 6.3**). Portanto, inferências referentes a efeitos de fatores experimentais requerem a estimação dos erros que afetam esses efeitos. Esses erros originam-se do erro experimental e em algumas situações também podem compreender efeitos de fatores experimentais. Por essa razão, suas estimações usualmente requerem a estimação do erro experimental.

Na situação mais simples de um único fator experimental e ausência de controle local e de controle estatístico o erro que afeta os efeitos de tratamentos é a variação entre as unidades experimentais com um mesmo tratamento. Nesse caso o erro compreende exclusivamente erro experimental.

Assim, um requisito essencial do experimento é prover a estimação dos erros que afetam efeitos relevantes de fatores experimentais e, particularmente, a estimação do erro experimental. Para tal, o plano do experimento deve assegurar que níveis de fatores experimentais apareçam em mais de uma unidade experimental, ou seja, deve assegurar repetições desses níveis.

No passado, foi sustentada a idéia do uso de estimativa do erro experimental provida por experimentos anteriores ou por "experimentos em branco", ou seja, experimentos sem tratamentos, conduzidos especialmente para estimação do erro experimental. Estimativas do erro experimental dessa origem podem ser válidas em áreas de pesquisa onde as características ambientais permaneçam essencialmente invariáveis ao longo do tempo. Entretanto, em pesquisas com animais e plantas em ambientes naturais a variabilidade dessas características é geralmente elevada e não previsível. Um terreno aparentemente uniforme pode compreender porções de solo consideravelmente distintas que se revelam apenas sob certas condições, como períodos de tempo úmido ou seco. Condições de clima desfavoráveis, como períodos prolongados de chuva ou estiagem, e frio ou calor intensos fora de estação, podem ocasionar estresse e conseqüente variabilidade não previsível da resposta de plantas e animais. Também podem originar ocorrências de doenças que impliquem variabilidade cuja amplitude e intensidade sejam imprevisíveis. Por essa razão, é recomendável que o experimento seja auto-suficiente no sentido de prover estimativas do erro experimental apropriadas para as inferências que ele se destina derivar.

Em experimentos com número elevado de fatores em ambientes uniformes pode ser sabido que certas interações de ordens elevadas, ou seja, que envolvem muitos fatores, são inexistentes ou irrelevantes. Essa situação pode ocorrer, por exemplo, em

pesquisas de processos industriais. Com base nesse argumento, componentes da variação que expressam tais interações são utilizados como estimativas de erros para inferências referentes a efeitos de fatores experimentais relevantes. Naturalmente, a validade de uma estimativa de erro provida por interação de ordem elevada depende da correção do argumento de irrelevância dessa interação. Caso esse argumento não seja correto, o erro resultará superestimado e, por conseqüência, as inferências serão tendenciosas.

6.5.3 Precisão

A precisão está relacionada com a sensibilidade do experimento para detectar efeitos de fatores experimentais que se manifestem na amostra. Quando inferências não revelam a presença de um efeito de fatores experimentais, não há como discriminar se esse fato resultou da inexistência do efeito ou da precisão não ter sido suficiente para detectá-lo. Assim, um requisito do plano do experimento é assegurar precisão para detecção dos efeitos relevantes dos fatores experimentais que se manifestem na amostra.

A precisão é uma propriedade das inferências que constituem o objeto do experimento. Não é uma propriedade inerente ao delineamento ou aos procedimentos adotados no experimento, pois um mesmo delineamento ou um mesmo procedimento pode contribuir para inferências mais ou menos precisas dependendo das circunstâncias.

A precisão depende da grandeza do erro que afeta os efeitos de fatores experimentais. Ou seja, a precisão depende da grandeza do confundimento dos efeitos dos fatores experimentais com efeitos de características estranhas não controlados por controle local e por controle estatístico. Ela é tão mais elevada quanto menor é esse confundimento, ou seja, quanto menor é a fração correspondente do erro experimental.

Em experimentos com uma única formação de unidades experimentais o confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas é mensurado pela **variância do erro experimental** que afeta efeitos dos fatores experimentais expressa por unidade. Essa variância é denotada por σ^2 e definida como a média populacional dos quadrados dos erros originados desse confundimento nas unidades representadas pelas unidades experimentais. A raiz quadrada dessa variância, ou seja, σ é denominada **erro padrão** por unidade.

Usualmente a variância populacional σ^2 não é conhecida. Em seu lugar é utilizada uma sua **estimativa**, isto é, um valor apropriado para aproximá-la determinado a partir dos valores observados na amostra. Essa **estimativa da variância do erro experimental** por unidade é a variação dos valores observados da variável resposta que é devida a características estranhas dividida pelo correspondente número de unidades de informação independentes, que é mais comumente denominado **número de graus de liberdade do erro**. Essa estimativa é denotada por s^2 .

Fisher define a **precisão** ou **quantidade de informação** suprida pelo experimento como o inverso da variância do erro experimental, ou seja, $1/\sigma^2$. Como a variância σ^2 é usualmente desconhecida, ela tem que ser substituída por uma sua estimativa. A quantidade de informação provida por um experimento com variância do erro estimada por s^2 é expressa por:

$$\frac{v+1}{(v+3)s^2},$$

onde v é o número de graus de liberdade do erro.

Essa definição de precisão ou quantidade de informação é própria para experimentos com uma única formação de unidades experimentais. Em experimentos com mais de uma formação de unidades experimentais os efeitos de fatores experimentais são afetados por erro experimental proveniente de mais de um estrato. Nessas circunstâncias é usualmente importante considerar a precisão do experimento referente a cada formação de unidades experimentais particular. A precisão do experimento correspondente a uma formação de unidades experimentais é expressa pelo inverso da variância do erro experimental no estrato que corresponde a essa formação de unidades experimentais. Como, em geral, essa variância populacional é desconhecida, essa precisão deve ser aproximada por expressão semelhante àquela do parágrafo anterior com a variância substituída por uma sua estimativa. Então, a **precisão global do experimento** é o inverso da média ponderada das variâncias dos estratos correspondentes às formações de unidades experimentais cujos pesos são os respectivos números de graus de liberdade. Usualmente, essas variâncias são desconhecidas e devem ser substituídas por estimativas.

As expressões que correspondem a essas definições de precisão envolvem medidas de variabilidade que não são facilmente interpretáveis, dado que a unidade de medida da variância é o quadrado da unidade de medida da variável resposta. Pode ser mais conveniente expressar a magnitude do erro pelo correspondente **desvio padrão** que é raiz quadrada da variância. O desvio padrão é uma medida da imprecisão do experimento.

Usualmente, são de maior interesse as precisões de inferências sobre efeitos particulares de fatores experimentais. A precisão das inferências referentes a um efeito de fatores experimentais depende do confundimento desse efeito com efeitos de características estranhas, ou seja, depende da fração do erro experimental que afeta esse efeito. Ela também pode ser afetada por outros efeitos de fatores experimentais. A variação dos valores da variável resposta dessas duas origens é o **erro** que afeta essas inferências.

A **precisão das inferências referentes a um efeito de fatores experimentais** é expressa pelo inverso da variância do erro que afeta esse efeito. Essa variância compreende componentes correspondentes aos estratos do erro experimental que afetam esse efeito e também pode incluir componentes referentes a outros efeitos de fatores experimentais.

Em experimentos comparativos, as inferências mais importantes referem-se a diferenças ou comparações de efeitos ou médias de tratamentos. Na suposição de ausência de erros sistemáticos, a estimativa de uma diferença de médias de tratamentos diferirá de seu correspondente valor populacional apenas por erros aleatórios. A grandeza do erro aleatório que afeta uma diferença de médias de tratamentos é expressa pela correspondente **variância** ou sua raiz quadrada, que é denominada **erro padrão**. O erro padrão é uma medida da imprecisão das inferências referentes a uma diferença de médias de tratamentos.

Em experimentos com um único fator experimental, mesmo número de repetições para todos os tratamentos e efeitos de tratamentos afetados por erro experimental de um único estrato, o erro padrão da estimativa da diferença de duas médias de tratamentos é expresso por:

$$\sigma \times \sqrt{\frac{2}{r}},$$

onde σ é o desvio padrão e r o número de repetições comum aos dois tratamentos.

O significado do erro padrão como uma medida da magnitude dos erros aleatórios que afetam a estimativa de uma diferença de médias de tratamentos pode ser compreendido pela observação de que:

- em cerca de um terço dos casos (ou seja, em cerca de 1/3 de todas as amostras distintas possíveis) a estimativa diferirá do correspondente valor populacional, ou seja, errará por mais do que o erro padrão;
- em cerca de um vigésimo dos casos a estimativa errará por mais do que duas vezes o erro padrão;
- em cerca de um por cento dos casos a estimativa errará por mais do que 2,5 vezes o erro padrão.

Essas proporções de erros são aproximadas, pois elas dependem da forma da distribuição dos erros e da precisão da estimativa do desvio padrão.

Origens da imprecisão

A precisão depende das grandezas dos erros padrões que afetam efeitos de fatores experimentais. Assim, fontes de inflação de erros padrões são origens de imprecisão ou de prejuízos para a precisão. Genericamente, prejuízos para a precisão têm as seguintes origens:

- variáveis respostas;
- fatores experimentais e seus níveis;
- número e dimensões das unidades experimentais;
- características estranhas do material experimental, ou seja, características referentes a:
 - amostra inicial,
 - veículos dos tratamentos,
 - aplicação dos tratamentos,
 - ambiente,
 - operações para funcionamento das unidades e
 - mensuração e registro dos dados.

Ao planejar um experimento particular o pesquisador deve identificar as fontes de imprecisão potenciais com base na experiência colhida de experimentos semelhantes e em informações disponíveis na literatura e em outras fontes. Em algumas situações, particularmente em experimentos em áreas novas, pode ser recomendável a realização de estudos preliminares para avaliação do impacto de características estranhas sobre a precisão, e a definição e o aprimoramento de técnicas experimentais próprias para controle dessas características. Esse processo preliminar pode prover subsídios importantes para a melhoria ou refinamento do plano de experimentos.

Ações para o aumento da precisão

Uma vez as fontes de imprecisão importantes estejam identificadas, o próximo passo é a definição das ações para controlá-las de modo a lograr a precisão apropriada. Essa precisão deve ser suficiente para prover probabilidade elevada de detecção de efeitos importantes de fatores experimentais que se manifestem na amostra. Os recursos apropriados para esse propósito dependem das circunstâncias de cada experimento particular. As ações que podem contribuir para o aumento da precisão são consideradas a seguir.

a) Escolha apropriada das variáveis respostas. A discriminação dos níveis de uma característica resposta depende da escala de medida da variável que é definida para expressá-la. As variáveis respostas devem ser definidas de modo que expressem as

características que representam com as precisões apropriadas para suas relevâncias. Assim, por exemplo, a incidência de uma doença fúngica em plantas de trigo pode ser expressa por uma variável de apenas dois níveis: sem e com incidência, por uma variável de quatro níveis: sem infecção e com infecção baixa, média e alta, por uma variável discreta com número de níveis mais elevado ou por uma variável contínua. As mensurações providas por essas variáveis alternativas distinguem os graus de infecção manifestados nas unidades de observação com precisões diferentes.

b) Escolha apropriada dos fatores experimentais e de seus níveis. A escolha de um fator experimental com níveis que se relacionam quantitativamente pode ter implicações relevantes para a precisão das inferências. Esse é o caso, por exemplo, quando os níveis são doses de um fertilizante ou de um antibiótico. Para ilustração, considere-se a situação simples em que a resposta a níveis crescentes do fator é linear, ou seja, em que a razão entre o incremento da resposta e o incremento do nível do fator é constante, e em que são de interesse inferências referentes à declividade da reta $E(y) = a + bx$ que representa a relação postulada para a população objetivo entre a variável resposta y e o fator x . Uma questão importante é a escolha dos níveis x_1, x_2, \dots de x que propiciem a maximização da precisão das inferências referentes ao parâmetro b , que exprime a razão de acréscimos da variável resposta y e do fator x . Esses níveis são os valores de x que tornam mínima a variância do estimador de b , ou seja:

$$\text{Var}(\hat{b}) = \frac{\sigma^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2},$$

onde \bar{x} é a média desses níveis e σ^2 é a variância do erro que afeta inferências referentes ao fator x . A precisão dessas inferências é máxima quando os níveis são os valores de x que maximizam:

$$\text{SQX} = \sum_i (x_i - \bar{x})^2.$$

Supondo que o número total de observações é fixado, SQX pode ser aumentada com o incremento da amplitude do intervalo dos valores de x e, para um valor fixo dessa amplitude, SQX é maximizada quando a metade dos valores de x situam-se em cada um dos extremos do intervalo. Essa é a **estrutura de tratamentos ótima** para inferências referentes à razão de acréscimos de uma relação linear.

Esse procedimento estende-se para determinação da estrutura de tratamentos ótima para inferências referentes a parâmetros ou funções paramétricas referentes a funções de resposta mais complexas. Muito freqüentemente, quando o pesquisador tem uma base para a pressuposição de uma relação entre a variável resposta e o fator, como ilustrado pela relação linear, ele hesita em confiar plenamente nessa base como critério para derivar a estrutura de tratamentos ótima. Entretanto, a consideração da estrutura ótima fundamentada em uma pressuposição razoável é valiosa porque provê uma base a partir da qual pode ser determinada uma solução satisfatória.

Ganhos de precisão também podem ser obtidos pela consideração de dois ou mais fatores experimentais em um mesmo experimento, em lugar de conduzir experimentos separados para cada um desses fatores. Considere-se, por exemplo, a pesquisa do efeito da profundidade de aração e da fertilização do solo com nitrogênio sobre a produção de milho. Pode-se conduzir um experimento para comparação de aração profunda (A_1) e aração rasa (A_2), e um outro para comparação da fertilização com uma quantidade específica de N (N_1) com a ausência de adubação (N_0). Alternativamente, essas duas comparações podem ser efetuadas em um único experimento com dois fatores: aração e fertilização com N, com quatro tratamentos: 1 - A_1N_1 , 2 - A_1N_0 , 3 - A_2N_1 e 4 - A_2N_0 , onde A_1N_1 significa aração profunda com adição de nitrogênio, etc. Então, o efeito da fertilização do solo com nitrogênio é avaliado pela comparação dos tratamentos 1 e 3 com os tratamentos 2 e 4. Na suposição de material experimental com mesma

composição de características estranhas, esse experimento provê estimativa do efeito da adubação com nitrogênio mais precisa do que um experimento com o mesmo número de repetições devotado à pesquisa apenas desse efeito. De fato, a precisão dessa estimativa provida pelo experimento com os dois fatores é $\sqrt{2}$ vezes a precisão provida pelo experimento apenas com o fator fertilização com N. Essa mesma propriedade aplica-se à estimação da diferença média dos efeitos de aração profunda e aração rasa. Em geral, experimento com os dois ou mais fatores experimentais provê estimativas dos efeitos desses fatores mais precisas do que experimentos separados cada um devotado a um dos fatores.

c) Escolha de amostra inicial homogênea. A adoção de amostra constituída por unidades homogêneas ao início do experimento é altamente eficaz para lograr precisão elevada. Por exemplo, experimentos com animais e plantas uniformes são mais precisos do que experimentos com animais e plantas com características individuais variáveis. Esse procedimento é freqüentemente apropriado para experimentos básicos. Entretanto, pode ser inconveniente para experimentos tecnológicos, como, por exemplo, experimentos que visam gerar tecnologias para recomendação de adoção por agricultores, criadores, etc. Nesses experimentos a amostra deve representar a heterogeneidade natural presente na população objetivo, que é consideravelmente acentuada em muitas situações.

d) Tamanho apropriado do experimento. O tamanho do experimento expresso pelo número de unidades experimentais determina o número de graus de liberdade para a estimação da variância do erro experimental. Se esse aumento do número de graus de liberdade supera o eventual incremento da variação atribuível às características estranhas, a variância do erro experimental é reduzida. Esse procedimento tem limitações, tais como os fatos de que o aumento do número de unidades experimentais pode implicar constituição de material experimental heterogêneo e resultar em prejuízo para a implementação controlada de técnicas experimentais.

O aumento do tamanho do experimento pode ser obtido pelo aumento do número de repetições e pela consideração de fatores experimentais suplementares.

O erro padrão da diferença das médias de dois tratamentos baseadas em mesmo número de repetições e afetadas por erro experimental de um único estrato é inversamente proporcional à raiz quadrada do número de repetições. Assim, nessa situação particular, o erro padrão é reduzido à metade pela quadruplicação do número de repetições, enquanto que para obter a redução do erro padrão a um décimo é necessário multiplicar por cem aquele número de repetições.

Em experimentos de ampla abrangência é logrado aumento do tamanho do experimento pela condução do experimento em diversas seções do espaço e do tempo. Dessa forma, o aumento do número de repetições para fatores de tratamento importantes é obtido pela inclusão dos fatores intrínsecos local e período de tempo. Fatores de tratamento adicionais também podem ser utilizados para esse propósito. Assim, por exemplo, em um experimento para pesquisa da eficiência de fungicidas para controle do míldio da videira pode ser lograda maior precisão pelo aumento do número de repetições dos fungicidas em um local e ano particular, pela condução do experimento em diversos locais e anos, ou pela inclusão de um fator de tratamento adicional, como, por exemplo, cultivar.

Embora teoricamente o erro padrão possa ser tornado arbitrariamente pequeno pelo aumento do número de repetições, esse modo de aumentar a precisão tem uso limitado, pois é dispendioso e freqüentemente impraticável.

A discussão precedente tornou saliente a importância do empenho para lograr a redução das estimativas de desvios e erros padrões. Observe-se, entretanto, que embora os desvios e erros padrões devam ser suficientemente pequenos para permitir a derivação de inferências convincentes, eles não devem ser demasiadamente pequenos.

De fato, se o erro padrão é exageradamente grande, o experimento pode ser quase inútil, já que não proporcionará qualquer chance para a detecção de diferenças importantes de tratamentos. Entretanto, erro padrão desnecessariamente pequeno pode implicar desperdício de material experimental.

Muito freqüentemente, inferências de interesse são estimação e testes de hipóteses referentes a diferenças de efeitos de tratamentos. O uso da expressão do erro padrão da estimativa da diferença de duas médias de tratamentos, dada anteriormente, ou uma sua extensão para situação de números diferentes de repetições, permite prever, quando o experimento está sendo planejado, o número de repetições necessárias para lograr uma dada precisão para essas inferências, ou, alternativamente, a precisão que será obtida com um número particular de unidades experimentais. Para isso, é necessário conhecimento da variabilidade das unidades que permita avaliar a grandeza do desvio padrão. Informação aproximada dessa variabilidade pode ser obtida de experimentos similares já realizados. Esse tema é considerado na **Seção 9.4.3**.

e) Controle de técnicas experimentais. Esse procedimento de controle experimental pode ser apropriado para a redução da variação devida a características estranhas de diversas origens. As ações que podem ser efetivas para esse propósito são consideradas a seguir.

- Homogeneização das características estranhas da amostra inicial. Por exemplo, uso de adubação básica, ou seja, adubação uniforme antes do plantio para redução da variação da fertilidade do solo em um experimento com plantas; adoção de um período pré-experimental em que os animais são mantidos sob mesmo manejo ou sob mesmo regime alimentar para uniformização de características individuais dos animais.

- Dimensões apropriadas das unidades experimentais. Em experimentos em que o material experimental apresenta variabilidade espacial considerável, como experimentos agrícolas de campo, a precisão pode ser afetada de modo considerável pelo tamanho e a forma das unidades experimentais. Nessas circunstâncias, a escolha apropriada das dimensões das unidades experimentais pode contribuir para a elevação da precisão. Por exemplo, em um experimento a ser conduzido em terreno com heterogeneidade acentuada das características do solo em uma direção pode ser lograda precisão mais elevada com o uso de parcelas retangulares com dimensão maior na direção perpendicular. Esse tópico é tratado na **Seção 9.4.2**.

- Homogeneização das características estranhas veiculadas com os tratamentos. Em geral, tratamentos estão associados com características estranhas junto com as quais são veiculados. Por exemplo, em um experimento de comparação de cultivares os níveis do fator cultivar são cultivares cada uma das quais é definida como um conjunto de características específicas que lhe são inerentes, particularmente características genéticas; em um experimento sobre o controle de uma infecção de animais com antibióticos os antibióticos são constituídos de conjuntos de características inerentes a seus respectivos princípios ativos. Entretanto, as cultivares são veiculadas por sementes que compreendem, além das características relacionadas ao ente genético cultivar, características referentes à sanidade, pureza, germinação, vigor, etc. que não são inerentes às cultivares; os princípios ativos dos antibióticos são veiculados juntamente com características referentes às substâncias às quais eles estão agregados. A variação originada dessas características estranhas constitui erro de tratamento, que contribui para o erro experimental. Essa variação deve ser controlada por controle de técnicas experimentais; por exemplo, no experimento de comparação de cultivares as sementes devem ser uniformes quanto a vigor, sanidade, pureza e outras características não inerentes a cultivar; no experimento de controle de infecção animal os antibióticos devem ser homogêneos quanto à qualidade, particularmente no que se refere às substâncias com as quais são veiculados e a prazo de validade.

- Controle da aplicação dos tratamentos. Diferenças referentes à aplicação dos tratamentos às unidades experimentais também constituem erro de tratamento e contribuem para o erro experimental. Assim, por exemplo, no experimento de comparação de cultivares considerado anteriormente a semeadura deve ser efetuada uniformemente nas unidades experimentais no que se refere à quantidade e distribuição de sementes, data de plantio, etc.; em um experimento de nutrição de cordeiros as dietas devem ser aplicadas nas unidades experimentais que lhe são assinaladas segundo as respectivas especificações referentes a quantidade e modo de suprimento; em um experimento do efeito da umidade sobre a qualidade da semente após um período de armazenamento as sementes com as umidades especificadas devem ser distribuídas uniformemente nos correspondentes recipientes para constituírem as unidades experimentais; em um experimento de controle de insetos com inseticidas pode ser requerido aparato especial para garantir que todas as unidades experimentais recebam os inseticidas que lhe são assinalados de modo uniforme, particularmente no que se refere à quantidade.

- Homogeneização da manifestação de características do ambiente. Por exemplo, uniformização da temperatura e da umidade do ar em experimentos conduzidos em ambientes controladas, como casa de vegetação, laboratório e instalações protegidas; aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas para controle das incidências de insetos, doenças e invasoras, e proteção contra predadores em experimentos agrícolas de campo; aplicação de medicações profiláticas, como vacinas e vermífugos, em experimentos com animais.

- Controle da implementação de operações necessárias para o funcionamento das unidades. Técnicas experimentais falhas podem originar contribuição substancial para o erro experimental. Esse componente potencial do erro experimental pode ser reduzido com a implementação controlada dessas técnicas. Em particular, técnicas de cultivo de plantas (referentes a plantio, aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas, colheita, etc.) e técnicas de manejo de animais (referentes a provimento de alimento e de água, aplicação de medicamentos, etc.) devem ser empregadas de modo uniforme; por exemplo, a quantidade de sementes deve ser homogênea para todas as parcelas, e a lotação e o provimento de ração e de água deve ser uniforme para todos os compartimentos (boxes, poteiros, gaiolas) que constituem as unidades experimentais.

- Emprego de técnicas experimentais propositais para controle do funcionamento das unidades. O emprego de técnicas especiais que não são usuais na população objetivo pode contribuir para o aumento da precisão. Por exemplo, uso de bordadura na parcela ou proteção para evitar confundimento de efeitos de tratamentos em parcelas vizinhas e redução das plantas que emergem a um mesmo número por parcela, em experimentos agrícolas de campo; substituição de animais afetados por características estranhas perturbadoras (predadores, por exemplo) e adoção de medicamentos não usuais na população objetivo para evitar doenças e parasitos, em experimentos com animais.

- Emprego de procedimentos e instrumentos de mensuração apropriados. A precisão das inferências pode ser afetada consideravelmente pela precisão das mensurações. Por exemplo, em um experimento com ovinos adultos, a mensuração do peso corporal com balança de precisão de quilogramas não permite distinguir pesos de animais que difiram por até 0,999...kg, como é o caso do peso de dois animais com 49,6kg e 50,4kg; o peso desses dois animais serão ambos registrados com arredondamento para 50kg. Em geral, procedimentos de mensuração de características contínuas devem ser apropriados para que os dados sejam registrados com números de dígitos significativos adequados. Como regra geral, é recomendável o registro de dados com, no mínimo, três algarismos significativos. Assim, no experimento com frangos, o peso corporal deve ser expresso por variável com unidade de medida de decagramas e mensurado em balança que propicie precisão dessa ordem. Avaliações efetuadas por

avaliadores estão sujeitas à variabilidade decorrente da habilidade do avaliador. Variações dessa origem podem ser reduzidas através de treinamento dos avaliadores, uso de padrões de referência e uso de mais de um avaliador ou de mais de uma avaliação por unidade de observação.

Assim, a utilização de instrumentos que efetuem mensurações com precisões apropriadas é altamente relevante. Entretanto, a precisão do processo de mensuração também depende da variabilidade inerente à unidade de observação. Essa variabilidade pode ser reduzida pela utilização de mais de uma unidade de observação por unidade experimental elementar e a adoção da média como a resposta na unidade experimental. Esse mesmo procedimento pode ser apropriado para avaliações efetuadas por mais de um avaliador em cada unidade de observação.

f) Controle local e controle estatístico. Esses procedimentos de controle experimental são os recursos que comumente podem ser utilizados mais convenientemente e com maior proveito para o aumento da precisão, particularmente em experimentos tecnológicos. Muito freqüentemente, uma ou poucas características do material experimental constituem as fontes de variação estranha predominantes que podem inflacionar consideravelmente o erro experimental. Por exemplo, em um experimento de comparação de cultivares essas fontes de variação podem ser a fertilidade e a umidade do solo e o estande (número de plantas); em um experimento de nutrição animal tais fontes podem ser a raça, a idade e o peso corporal do animal. Nessas situações, o controle local pode ser apropriado para controle das variações atribuíveis a características estranhas referentes a solo e a raça e idade do animal, enquanto que o controle estatístico pode ser conveniente para controle das variações estranhas atribuíveis a estande e a peso do animal. O uso apropriado do controle local e do controle estatístico nessas circunstâncias permite separar da variação do erro experimental que afeta inferências referentes a fatores experimentais a variação devida às características estranhas relevantes e eliminar essa variação das estimativas desses efeitos. Dessa forma, esses procedimentos de controle experimental podem propiciar precisão reduzida em experimentos com material experimental representativo da heterogeneidade presente na população objetivo.

Em geral, a adoção de delineamento experimental que exerça controle local eficaz pode permitir o controle de fontes de variação estranha relevantes. Assim, por exemplo: a) Se o material experimental é heterogêneo quanto à composição de características estranhas, mas podem ser constituídos blocos de unidades suficientemente homogêneas a cada um dos quais seja atribuída uma coleção completa dos tratamentos, esse delineamento com blocos completos permite eliminar a fonte relevante da variação estranha das estimativas das diferenças de efeitos dos tratamentos e da estimativa da variância do erro experimental que afeta esses efeitos. b) Se o material experimental é muito heterogêneo ou o número de tratamentos é muito elevado, pode ser apropriada a utilização de delineamento com blocos incompletos, com a constituição de blocos de unidades de tamanho menor que o número de tratamentos. c) Neste caso, na situação de um único fator experimental em que as inferências relevantes referem-se às comparações de cada um dos tratamentos com cada um dos demais tratamentos é conveniente a adoção de delineamento experimental que garanta igual precisão para todas essas comparações. d) Na situação considerada no item b), quando o experimento compreende diversos fatores experimentais e interações de ordens elevadas (interações de muitos fatores experimentais) são irrelevantes, pode ser adequado delineamento com confundimento que sacrifique inferências referentes a essas interações para propiciar precisão apropriadamente elevada para inferências referentes a efeitos importantes.

A escolha do delineamento experimental também pode ser feita com proveito para lograr a precisão conveniente em muitas outras circunstâncias. Por exemplo: a) No caso de dois fatores experimentais com importâncias relativas diferentes, a adoção de duas formações de unidades experimentais em que uma delas constitua subdivisões da outra

pode ser utilizada para atribuir precisão mais elevada para as inferências referentes ao fator mais importante pela alocação dos níveis desse fator às unidades constituídas por essas subdivisões; os níveis do fator menos importante são assinalados às unidades experimentais de maior dimensão. b) Em experimentos em que tratamentos têm importâncias diferentes para as inferências de interesse pode-se lograr precisão mais elevada para essas inferências através da alocação de números apropriados de repetições para os tratamentos. Esse é o caso, por exemplo, quando um dos tratamentos é o termo de referência para os outros tratamentos e as inferências de interesse são as comparações do tratamento referência (usualmente designado **tratamento controle** ou **testemunha**) com cada um dos demais tratamentos; a precisão dessas comparações pode ser consideravelmente aumentada pela atribuição de maior número de repetições ao tratamento controle.

Exercícios 6.1

1. Quais segmentos do planejamento do experimento têm implicações para o delineamento experimental? Explique como o planejamento desses segmentos gera o delineamento experimental.
2. Quais são as três condições para inferir a existência de efeito causal de um fator experimental sobre uma característica resposta? Ilustre essas três condições com um exemplo de experimento de sua área.
3. O experimento mais simples compreende um único fator experimental e uma única formação de unidades experimentais.
 - a) Ilustre um experimento nessas circunstâncias.
 - b) Descreva uma fonte de variação que expresse efeitos dos tratamentos. Explique porque essa fonte de variação também compreende um componente originado de características estranhas.
 - c) Descreva uma fonte de variação que expresse apenas efeitos de características estranhas.
 - d) Quais são as condições que os componentes da variação dessas duas fontes que são originados de características estranhas devem satisfazer para que a contrastação dessas duas fontes de variação possa servir de base para inferências válidas referentes a efeitos dos tratamentos?
4. Dê um exemplo de experimento com dois fatores experimentais. Para esse exemplo explique os significados dos efeitos principais e dos efeitos simples de cada um dos fatores e do efeito da interação desses fatores.
5. Justifique a importância do estabelecimento do plano antes do início da execução do experimento e indique algumas conseqüências da desconsideração desse requisito.
6. Explique porque a estimação dos erros que afetam efeitos de fatores experimentais na amostra é necessária, particularmente a estimação do erro experimental.
7. Qual é a relação entre precisão do experimento e variação atribuível ao erro experimental?
8. Como a repetição pode contribuir para o aumento da precisão do experimento?
9. Explique os recursos mais importantes que o pesquisador pode utilizar para o aumento da precisão de experimentos tecnológicos de abrangência ampla.
10. Suponha que um pesquisador está planejando um experimento para as comparações simples de três tratamentos t_1 , t_2 e t_3 , ou seja, t_1-t_2 , t_1-t_3 , e t_2-t_3 .
 - a) Determine os números de repetições relativos que ele deve alocar aos 3 tratamentos para cada uma das duas seguintes alternativas referentes aos erros padrões dessas comparações: i) erro padrão igual para todas essas comparações; ii) erros padrões com a seguinte relação de proporções: 4:5:6.
 - b) Supondo que ele dispõe de 60 unidades experimentais homogêneas, determine os números de repetições que devem ser alocadas aos três tratamentos para satisfação de cada uma das relações entre erros padrões consideradas no item anterior.

11. Explique porque em experimentos com mais de uma formação de unidades experimentais a precisão deve ser considerada separadamente para cada um dos estratos do erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais? Ilustre com um experimento de sua área.
12. Explique como a escolha da variável resposta pode afetar a precisão do experimento.
13. Considere um dos experimentos exemplificados nos exercícios 3 e 4. Descreva as ações apropriadas para lograr precisão elevada para as inferências originadas desse experimento.
14. O que você entende por característica estranha veiculada com tratamentos? Ilustre com a descrição dessas características referentes ao experimento considerado no exercício 3.
15. Explique as implicações dos procedimentos de controle experimental para a precisão do experimento.

6.5.4 Validade

O plano deve garantir que o experimento tenha habilidade para revelar os efeitos reais dos fatores experimentais, em particular para detectar diferenças de efeitos de tratamentos realmente existentes na população objetivo. Essa habilidade é mais elevada quanto maior é a exatidão das inferências derivadas da amostra para a população objetivo, ou seja, quanto maior é a precisão e menor é o viés dessas inferências.

Um experimento é **válido** se as inferências derivadas da amostra para a população objetivo são **válidas**, ou seja, não viesadas ou não tendenciosas.

A validade absoluta requer que o material experimental inicial, ou seja, o material experimental sobre o qual o experimento vai ser conduzido, seja uma amostra aleatória da população objetivo e as unidades experimentais sejam associadas aleatoriamente aos níveis dos fatores experimentais de modo que o erro experimental que afeta inferências sobre efeitos desses fatores compreenda exclusivamente características estranhas efetivamente casualizadas (**Figura 6.2**). Experimentos reais usualmente não satisfazem essas duas propriedades: o material experimental não é constituído por amostragem aleatória e o erro experimental compreende, também, características estranhas potencialmente perturbadoras. Por essa razão, a avaliação da validade não pode ser absoluta e envolve sempre julgamento subjetivo. Assim, a propriedade da validade do experimento, ou das inferências derivadas do experimento, somente pode ser lograda aproximadamente.

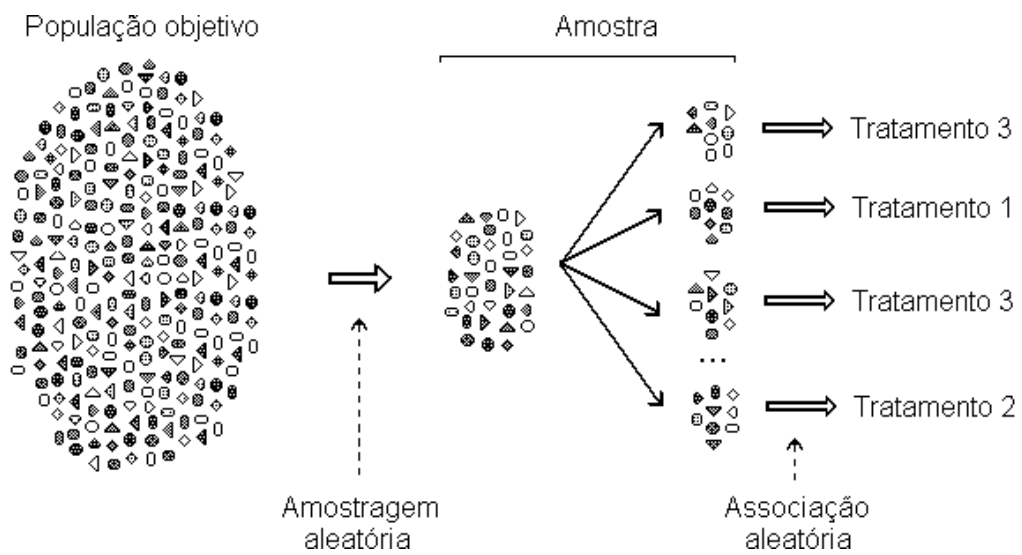


Figura 6.2. A validade absoluta do experimento requer que a amostra seja constituída por amostragem aleatória da população objetivo e as unidades experimentais sejam associadas aleatoriamente aos níveis dos fatores experimentais.

A validade, assim como a precisão, é uma propriedade das inferências derivadas de um experimento particular. Não é uma propriedade de métodos ou delineamentos de experimentos, pois um mesmo método ou delineamento pode contribuir para inferências mais ou menos validas dependendo das circunstâncias.

O viés do experimento tem duas origens ou componentes: o viés intrínseco que provém do erro experimental, isto é, do confundimento tendencioso de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais, e o viés extrínseco que decorre do erro de amostragem, ou seja, dos desvios da população amostrada em relação à população objetivo. O viés do experimento é tão menor quanto menores são os vieses originados do erro experimental e do erro de amostragem.

Tendo em conta essas duas origens do viés, ou seja, viés intrínseco e viés extrínseco, pode-se distinguir, respectivamente, a validade interna e a validade externa do experimento. A validade interna significa validade das inferências da amostra para a população amostrada. A validade das inferências da amostra para a população objetivo requer, também, a validade externa, ou seja, a validade da extensão das inferências da população amostrada para a população objetivo. **Figura 6.3** ilustra os dois passos do processo de inferência para extensão da amostra para a população objetivo, ou seja: 1) generalização da amostra para a população amostrada e 2) extensão da população amostrada para a população objetivo. A validade interna requer a ausência de viés no primeiro passo; a validade externa, no segundo passo.

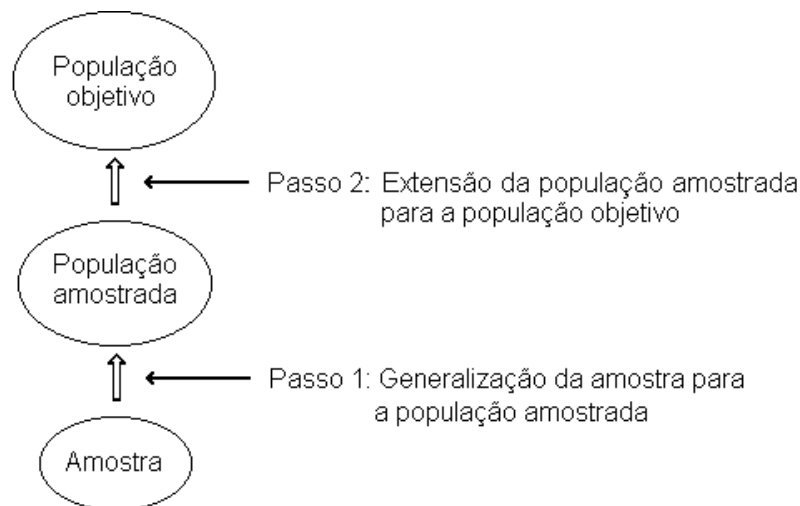


Figura 6.3. Os dois passos do processo de inferência para extensão da amostra para a população objetivo.

9.1.1.1 Validade interna

A validade interna refere-se à não tendenciosidade das inferências referentes a efeitos causais de fatores experimentais para as circunstâncias da amostra, ou seja, para a população amostrada. A validade interna requer a não tendenciosidade das estimativas dos efeitos de fatores experimentais e das estimativas do erro experimental que afeta esses efeitos.

A adoção de repetições é necessária para que o experimento proveja estimativas do erro experimental. Entretanto, não é suficiente para garantir a não tendenciosidade dessas estimativas e, também, das estimativas dos efeitos de fatores experimentais. Para que essas estimativas sejam não tendenciosas o plano do experimento deve assegurar que as unidades experimentais com um nível de um fator experimental não difiram em qualquer modo sistemático das unidades experimentais com outro nível deste fator experimental, exceto possivelmente por variação devida a características estranhas controladas e a outros fatores experimentais.

O experimento tem **validade interna** se a variação dos valores observados da variável resposta é aleatória, exceto por efeitos de fatores experimentais e efeitos de características estranhas controladas por controle local e por controle estatístico.

Isso significa que a validade interna requer que o material experimental não compreenda características estranhas perturbadoras. Nessas circunstâncias o erro experimental não tem componentes sistemáticos, o que implica que as inferências derivadas para a população amostrada, particularmente as inferências referentes a diferenças de efeitos de tratamentos, são não tendenciosas.

Se for assegurado que a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades da amostra é aleatória, exceto por efeitos de fatores experimentais, de fatores de unidade e de características estranhas controladas por controle estatístico, então inferências referentes à atribuição da causa dessa variação a efeitos de fatores experimentais podem ser derivadas por métodos estatísticos. Se essa pressuposição não for assegurada, não haverá como atribuir objetivamente a origem dessas diferenças a efeitos de fatores experimentais.

Origens do viés interno

Prejuízos para a validade interna provêm de viés resultante de confundimento tendencioso de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais e de estimativas tendenciosas dos erros que afetam esses efeitos. Em geral, esses prejuízos têm as seguintes origens:

- unidades experimentais;
- características estranhas do material experimental referentes a:
 - veículos dos tratamentos,
 - aplicação dos tratamentos,
 - ambiente,
 - operações para funcionamento das unidades,
 - pesquisador e
 - mensuração e registro dos dados.

O plano do experimento deve levar em conta as origens de viés interno potenciais e estabelecer as ações apropriadas para seu controle. As possíveis origens desse viés podem ser indicadas por experimentos anteriores, por informações providas pela literatura e por outras fontes. Em algumas circunstâncias, podem ser recomendáveis estudos preliminares para identificação de características estranhas que possam contribuir para o viés interno, e definição e aprimoramento de técnicas experimentais próprias para controle dessas fontes de viés.

Ações para o aumento da validade interna

As ações para o controle das fontes potenciais de viés interno devem ser previstas e descritas pormenorizadamente no protocolo do experimento. Essas ações compreendem fundamentalmente definição apropriada das unidades experimentais, controle de técnicas experimentais e casualização, e, algumas circunstâncias, controle estatístico.

a) Definição apropriada das unidades experimentais. As unidades experimentais são as unidades de informação sobre o erro experimental que afeta as inferências referentes aos efeitos dos fatores experimentais. A definição correta das unidades experimentais é essencial para a estimação não tendenciosa dos erros experimentais que afetam os efeitos dos fatores experimentais. Para ilustração, considere-se um experimento com o propósito de comparar quatro lotações de animais em pastoreio com um potreiro para cada lotação e dez animais por potreiro. Algumas vezes, a variação entre animais dentro de potreiro é utilizada para estimativa do erro experimental para as comparações de lotações. Essa variação, entretanto, subestima o erro experimental para comparar lotações, já que a variação entre animais dentro de um mesmo potreiro é usualmente inferior à variação entre animais em potreiros diferentes. De fato, em geral, há mais homogeneidade de características estranhas dentro de potreiros do que entre potreiros, particularmente de características referentes ao ambiente.

b) Controle de técnicas experimentais. Em geral, o controle de técnicas experimentais para o aumento da precisão também pode favorecer a validade interna. Assim, o controle de técnicas experimentais para o aumento da precisão deve ser planejado de modo a também contribuir para evitar o viés intrínseco. As ações para esse propósito são consideradas a seguir.

- Constituição apropriadas das unidades experimentais. A validade interna requer a ausência de confundimento de efeitos de tratamentos. Esse confundimento deve ser controlado por técnicas experimentais que evitem que efeitos de tratamentos sejam contaminados por efeitos de tratamentos em unidades experimentais vizinhas. Por exemplo, em experimentos com plantas em que os tratamentos são cultivares de plantas

de diferentes portes, fertilizantes, métodos de irrigação, inseticidas, fungicidas e herbicidas pode ser requerido uso de bordaduras nas unidades experimentais ou de espaçamento entre as unidades para evitar que efeitos de tratamentos que se manifestam em uma unidade não sejam afetados por efeitos de tratamentos em unidades vizinhas. Em experimentos de controle de doenças de animais que possam ser transmitidas entre animais indivíduos que constituem unidades experimentais diferentes devem ser mantidos em compartimentos (potreiros, boxes, gaiolas, etc.) separados para evitar confundimento de efeitos de tratamentos. Em certos experimentos pode ser necessária a adoção de proteção para evitar a contaminação das unidades experimentais por efeitos de tratamentos em unidades vizinhas; por exemplo, uso de telas em experimentos de controle de pragas para evitar que insetos de unidades experimentais sem inseticida (tratamento controle) ou com inseticidas menos eficazes passem para unidades com inseticidas mais eficazes.

- Controle das características estranhas veiculadas com os tratamentos. Diferenças de composição de características estranhas veiculadas com os tratamentos são fonte de viés intrínseco. Por exemplo, o fator experimental cultivar compreende o conjunto das características que constituem o ente genético cultivar; o fator antibiótico é constituído do conjunto das características inerentes a seu princípio ativo. Entretanto, as cultivares assinaladas às unidades experimentais são veiculadas por sementes, que também compreendem características estranhas referentes à sanidade, pureza, germinação, vigor, etc.; os princípios ativos dos antibióticos são veiculados às unidades experimentais com substâncias que compreendem um conjunto de características estranhas. O controle de técnicas experimentais deve ser empregado para evitar que efeitos de tratamentos se manifestem confundidos tendenciosamente com efeitos dessas características estranhas. Nesses exemplos esse controle consiste no uso de sementes das diferentes cultivares que sejam homogêneas quanto à sanidade, pureza, germinação, vigor e as demais características estranhas; e uso de antibióticos que sejam homogêneos quanto à composição das substâncias que os veiculam.

- Controle da aplicação dos tratamentos. Falhas na aplicação dos tratamentos podem originar confundimento tendencioso de efeitos de tratamentos com efeitos de características estranhas. Viés intrínseco dessa origem pode ser evitado por controle de técnicas experimentais. Por exemplo: a) em um experimento de nutrição de cordeiros em que as dietas diferem apenas quanto à composição qualitativa as diferentes dietas devem ser aplicadas aos cordeiros em iguais quantidades e de forma semelhante; b) em um experimento de comparação de fontes de nitrogênio, os adubos com nitrogênio das diversas fontes devem ter o mesmo teor de nitrogênio e devem ser aplicadas às unidades experimentais de modo uniforme no que se refere à quantidade e forma de aplicação; c) em um experimento sobre o controle de insetos com inseticidas os diferentes inseticidas que diferem quanto aos princípios ativos os inseticidas devem ser aplicados uniformemente quanto à quantidade e modo de aplicação.

- Controle da manifestação de características do ambiente. Efeitos de características do ambiente podem tornar-se relevantes e confundir-se tendenciosamente com efeitos de tratamentos. Por exemplo, variações de intensidades de vento, temperatura e precipitação, incidências de insetos, doenças fúngicas, invasoras e predadores em experimentos agrícolas de campo; doenças e vermes em experimentos com animais. Viés intrínseco dessa origem deve ser evitado ou reduzido por controle de técnicas experimentais. Esse controle pode ser exercido eficientemente em experimentos conduzidos em ambientes artificiais, como casas de vegetação, laboratórios e instalações protegidas. Em experimentos conduzidos em ambientes naturais, como experimentos de campo com plantas e animais, o controle é usualmente limitado a medidas preventivas para que características do ambiente que são controláveis se manifestem uniformemente; por exemplo: a) aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas para controle das incidências de insetos, doenças e invasoras, e

proteção contra predadores em experimentos com plantas; b) aplicação de medicações profiláticas, como vacinas e vermífugos, em experimentos com animais.

- Controle da implementação de operações necessárias para funcionamento das unidades. Variações ou falhas na implementação dessas operações podem ter duas implicações para o erro experimental: introduzir variações de natureza aleatória ou de natureza sistemática. No primeiro caso contribuem apenas para o incremento da estimativa do erro experimental; no segundo, para a tendenciosidade dessa estimativa. Por exemplo, se em um experimento com plantas técnicas de cultivo, tais como plantio, capina e colheita, estendem-se por intervalo de tempo considerável, sua execução tratamento por tratamento pode implicar confundimento tendencioso de efeitos de características do ambiente com efeitos de fatores experimentais.

Em geral, se em um experimento o desvio padrão revela-se consideravelmente mais elevado do que o observado em experimentos semelhantes, o pesquisador deve verificar se essa discrepância tem origem em diferenças de técnicas experimentais. Se alguma técnica experimental é identificada como possível origem de viés, o plano de próximos experimentos semelhantes deve prever o controle apropriado da implementação dessa técnica.

- Emprego de técnicas experimentais para propósito de controle do funcionamento das unidades. Em algumas circunstâncias pode ser apropriado empregar na amostra técnicas não usuais na população objetivo para propósito de evitar que características estranhas potencialmente perturbadoras se tornem perturbadoras. Por exemplo: a) uso de bordadura na parcela para evitar contaminação de efeitos de tratamentos diferentes em parcelas vizinhas e redução das plantas que emergem a um mesmo número por parcela, em experimentos agrícolas de campo; b) substituição de animais afetados por predadores e doenças para controle da lotação em compartimentos com tratamentos diferentes, em experimentos com animais;

- Controle de efeitos das unidades e do pesquisador. Em certos experimentos as unidades podem ser influenciadas por preferência ou rejeição a tratamentos que não constituem efeitos inerentes aos tratamentos. Isso pode ocorrer particularmente em experimentos com humanos. Viés originado de efeitos das unidades pode ser evitado omitindo para as unidades informação sobre os tratamentos que recebem.

O efeito do pesquisador também é uma fonte potencial de viés intrínseco. Esse viés pode surgir quando há alguma interferência consciente ou inconsciente que ocasione benefício ou prejuízo para alguns tratamentos. Em geral, cuidados especiais permitem evitar falhas dessa origem que impliquem viés intrínseco. Em situações extremas pode ser conveniente omitir informações ao pesquisador sobre os tratamentos.

- Emprego de procedimentos e instrumentos de mensuração apropriados. Os procedimentos e instrumentos de mensuração e o registro dos dados devem ser livres de tendenciosidade. As características respostas devem ser mensuradas segundo as respectivas definições, que devem ser estabelecidas no protocolo do experimento. Assim, por exemplo, em um experimento com plantas frutíferas em que plantas com tratamentos distintos possam ter maturações em datas diferentes, as mensurações do peso da produção e de outras características do fruto devem ser procedidas tratamento por tratamento, ou unidade de observação por unidade de observação, na medida em que os frutos atinjam o estado de maturação definido. Características respostas que devem ser mensuradas em uma mesma data podem ser sensíveis ao instante de mensuração ou ao estado da unidade de observação nesse instante; por exemplo, características do grão, como peso da produção e umidade, podem ser consideravelmente afetadas pela umidade do ambiente, particularmente quando há ocorrência de chuva; características do leite podem ser afetadas pelo horário de coleta do leite e, também, por alterações do animal decorrentes de estresse. Nesses casos é recomendável que a mensuração de todas as unidades seja procedida em intervalo de

tempo suficientemente curto de modo que efeitos do instante de mensuração ou do estado da unidade não resultem confundidos tendenciosamente com efeitos de tratamentos. Características respostas devem ser mensuradas sob condições comparáveis; por exemplo, se características da semente são determinadas a partir de amostras colhidas das unidades de observação, o processo de amostragem deve ser o mesmo para todas as unidades; se características do fruto são mensuradas em amostras dos frutos produzidos individualmente pelas plantas, essas amostras devem compreender frutos colhidos das mesmas posições.

Procedimentos de mensuração devem ser tão objetivos quanto possível, instrumentos de mensuração devem ser calibrados e aferidos periodicamente, dados devem ser registrados cuidadosamente e deve ser evitada transcrição dos dados. Particularmente, mensurações procedidas por avaliadores devem ser efetuadas com os cuidados necessários para evitar tendenciosidade, particularmente tendenciosidade que pode decorrer de subjetividade. Recursos para esse propósito são, por exemplo, treinamento dos avaliadores, uso de padrões de referência, uso de mais de um avaliador por unidade e omissão de informação ao avaliador referente ao tratamento que está sendo avaliado em cada unidade. Por outro lado, o viés potencial originado do registro dos dados pode ser evitado com cuidados especiais e, particularmente, com procedimentos que evitem transcrição de dados.

c) Controle estatístico. A manifestação de características do ambiente pode se tornar relevante de modo que seus efeitos afetem tendenciosamente efeitos de fatores experimentais. Se as unidades afetadas por características estranhas perturbadoras dessa origem são poucas e identificáveis, a tendenciosidade resultante pode ser controlada por controle estatístico. Esse procedimento consiste na omissão das observações nessas unidades e emprego de procedimentos de análise estatística que efetuem o ajustamento apropriado dos valores observados da variável resposta. Dessa forma, o registro de ocorrências relevantes durante a execução do experimento possibilita levá-las em conta nas inferências derivadas do experimento.

d) Casualização. A casualização é um recurso eficiente para o controle da tendenciosidade que pode decorrer do confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de tratamentos. A casualização deve ser utilizada na atribuição dos tratamentos às unidades experimentais e pode ser adotada complementarmente na implementação de técnicas experimentais que possam implicar confundimento tendencioso com efeitos de tratamentos. Nessa segunda situação a casualização é utilizada para determinar a ordem das operações nas unidades experimentais, quando a ordem possa implicar viés. Por exemplo, a casualização pode evitar o viés proveniente da ordem da implementação de técnicas de cultivo de plantas, como plantio, capina e colheita, e da ordem de técnicas de manejo de animais, como tosquia, pesagem, quando essas operações se prolongam por intervalo de tempo considerável.

9.1.1.2 Validade externa

A validade externa refere-se à não tendenciosidade da extensão das inferências da população amostrada para a população objetivo. Por definição, as inferências derivadas do experimento são válidas para a população amostrada, ou seja, a população da qual o material experimental é considerado uma amostra representativa. Em geral, restrições na escolha do material experimental implicam que essa população difira da população objetivo. Dessa forma, a extensão das inferências para a população objetivo envolve incerteza adicional àquela decorrente do erro experimental.

A validade externa é crucial para experimentos tecnológicos. Pode não ser tão relevante para experimentos básicos e experimentos iniciais de um programa de pesquisa. Em geral, esses experimentos têm como propósito a pesquisa de questões

básicas a serem ulteriormente consideradas em experimentos conduzidos em ambientes naturais, antes da recomendação de resultados para condições práticas.

Observe-se que em experimentos comparativos a representatividade da amostra é essencial no que se refere às suas implicações referentes às diferenças de efeitos de tratamentos; usualmente não é essencial com respeito aos efeitos individuais dos tratamentos.

Origens do viés externo

Prejuízos para a validade externa provêm de viés resultante de falhas da representação da população objetivo pelo material experimental. O viés externo pode originar-se no planejamento e ao longo da execução do experimento. Em geral, fontes de viés interno também podem implicar viés externo. Prejuízos para a validade externa têm as seguintes origens:

- variáveis respostas;
- fatores experimentais e de seus níveis,
- unidades experimentais;
- características estranhas do material experimental referentes a:
 - amostra inicial,
 - veículos dos tratamentos,
 - aplicação dos tratamentos,
 - ambiente,
 - operações para funcionamento das unidades e
 - mensuração e de registro dos dados.

Assim como as fontes de imprecisão e de viés interno, as possíveis origens de viés externo devem ser identificadas e consideradas no planejamento do experimento para que as ações apropriadas para seu controle sejam previstas e especificadas no protocolo do experimento. Indicações de fontes de viés externo potenciais podem ser obtidas de experimentos semelhantes e de informações da literatura.

Ações para o aumento da validade externa

Ações para o aumento da validade externa podem favorecer ou prejudicar a validade interna e a precisão. Assim, ao planejar e executar essas ações, o pesquisador deve tomar o cuidado necessário para lograr o balanceamento apropriado relativamente aos impactos que ações próprias para o aumento da validade externa possam ter para a precisão e a validade interna.

Diversos recursos podem ser utilizados para o aumento da validade externa do experimento, a saber:

a) Definição apropriada das variáveis respostas. A representação de uma propriedade das unidades por uma variável pode ser enganosa. Para que seja evitada tendenciosidade dessa origem as variáveis respostas devem expressar as propriedades relevantes das características respostas que representam. Por exemplo, em um experimento com pessegueiro, o peso dos frutos dos ramos inferiores da planta pode não ser uma variável apropriada para expressar o peso da produção de frutos; em um experimento com arroz irrigado, a altura média das cinco plantas mais vigorosas pode não ser uma variável válida para expressar a altura das plantas da parcela.

As escalas de medidas devem ser apropriadas para as representações corretas das propriedades das características que as variáveis expressam. Em algumas situações, é mais apropriado representar os níveis de uma característica por razões em vez de números absolutos. Por exemplo, a quantidade de açúcar no mosto da uva é mais

apropriadamente expressa em proporção ou porcentagem do que em peso, dado que este depende da quantidade de uva produzida; por razão semelhante, quando o número de animais em um compartimento (gaiola, por exemplo) é variável, a quantidade de alimento consumida deve ser expressa relativamente a um animal. Os níveis das variáveis devem representar apropriadamente os níveis das características que representam e particularmente as relações entre esses níveis. O pesquisador deve tomar precauções para evitar tendenciosidades que possam originar-se das escolhas dos níveis de variáveis respostas, particularmente quando variáveis são mensuradas subjetivamente, como, por exemplo, variáveis que expressam propriedades organolépticas de bebidas e alimentos, e quando variáveis categóricas expressam características contínuas, como grau de infecção de uma doença com quatro níveis: sem infecção, infecção fraca, média e alta.

b) Escolha apropriada de fatores experimentais e de seus níveis. As definições dos fatores experimentais para a amostra devem ser as mesmas estabelecidas para a população objetivo. Ademais, cada nível de fator experimental escolhido para a amostra deve ser o mesmo que lhe corresponde na população objetivo. Naturalmente, esses requisitos exigem definições claras e precisas dos fatores experimentais e de seus respectivos níveis sob consideração na população objetivo. Por exemplo, em um experimento para pesquisa do efeito da suplementação alimentar sobre o desenvolvimento corporal e a produção de carne de cordeiros pode ser considerada suplementação de uma quantidade fixa diária ou suplementação à vontade. Essas duas formas de suplementação são distintas e seus efeitos sobre a resposta do animal poderão ser bastante diferentes. O pesquisador deve decidir entre essas duas formas alternativas de suplementação. Essa decisão deve ser feita em consonância com os objetivos do experimento.

Em algumas situações, a representação da população objetivo pode requerer a extensão da amostra com a adição de níveis de uma característica relevante que passa a constituir um fator experimental não relacionado diretamente com os objetivos do experimento. Esse é o caso quando há expectativa de que os efeitos de fatores experimentais relevantes possam depender de alguma característica variável nas unidades da população objetivo. Por exemplo, em um experimento para pesquisa do controle de uma doença fúngica de trigo em que fungicida é o fator experimental relevante os efeitos dos fungicidas podem depender da cultivar; nesse caso pode ser conveniente adotar duas ou mais cultivares que representem a variação de suscetibilidade das cultivares da população objetivo a essa doença e considerar cultivar como um fator experimental adicional. Semelhantemente, em um experimento para pesquisa da suplementação alimentar de cordeiros em que os efeitos da suplementação possam depender do sexo e da raça pode ser conveniente constituir a amostra por animais machos e fêmeos das raças presentes na população objetivo; então, sexo e raça passam a constituir fatores experimentais adicionais. Em experimentos agrícolas para pesquisa de técnicas de cultivo, tais como fertilização do solo e controle de doenças e pragas, é geralmente conveniente a repetição em diversos locais da região de interesse e em diversos anos; nesses experimentos de ampla abrangência local e ano devem ser considerados como fatores experimentais adicionais.

c) Escolha de amostra inicial representativa da população objetivo. Essa é usualmente a condição mais crítica para a validade externa do experimento. Na pesquisa experimental muito comumente a amostra não é constituída por unidades escolhidas da população objetivo, mas por unidades construídas para simular essas unidades. Nessas circunstâncias a validade externa é altamente dependente do grau de similaridade logrado entre essas unidades construídas e unidades da população objetivo, principalmente quanto às suas composições iniciais. Assim, em experimentos de campo com plantas as parcelas devem ser construídas de modo a representar lavouras reais; particularmente as técnicas de cultivo devem ser similares às técnicas usuais nessas

lavouras. Semelhantemente, se um experimento para pesquisa do efeito do tempo de armazenamento sobre a qualidade da semente de soja é conduzido em instalações especialmente construídas para a pesquisa, as condições ambientais dessas instalações devem ser similares àquelas consideradas na população objetivo.

Particularmente, é altamente importante que a amostra represente a variabilidade presente na população objetivo. Assim, se a população objetivo tem abrangência espacial e temporal ampla, como é o caso de experimentos para pesquisa de técnicas de cultivo de plantas ou de manejo de animais, muito freqüentemente é necessário que a amostra compreenda diversos locais e intervalos de tempo de abrangências similares às consideradas na população objetivo. Em algumas situações pode ser conveniente que o experimento seja conduzido em unidades próprias da população objetivo, como é o caso de áreas e instalações de propriedades particulares nesses dois exemplos. Usualmente, as restrições para as escolhas de locais e anos de condução de experimentos têm implicações sérias e limitantes para a validade externa de experimentos tecnológicos.

A amostra escolhida inicialmente pode compreender uma ou mais unidades atípicas com características que manifestem níveis não considerados na população objetivo. Por exemplo, em experimentos com animais e plantas de grande porte, quando estão presentes indivíduos defeituosos ou doentes. Esses indivíduos discrepantes ou aberrantes são fontes potenciais de viés extrínseco e devem ser excluídos da mostra inicial.

Observe-se que em experimentos comparativos a representatividade da amostra é essencial no que se refere às suas implicações referentes às diferenças de efeitos de tratamentos; pode não ser tão essencial com respeito aos efeitos individuais dos tratamentos. Outra observação relevante é que em muitas pesquisas a população objetivo não é constituída por unidades com características similares às das unidades presentes no momento do planejamento, mas por unidades modificadas e evoluídas. Nesses casos a amostra inicial deve representar essa população objetivo ideal.

d) Controle de técnicas experimentais. Em geral, o controle de técnicas experimentais para o aumento da validade interna também pode contribuir para a validade externa. Entretanto, controle para o incremento da precisão pode implicar prejuízo para a validade externa. Portanto, é importante que as ações de controle de técnicas experimentais que sejam planejadas para benefício de um desses requisitos também favoreçam os outros requisitos, ou pelo menos não os prejudiquem. As ações para o aumento da validade externa são consideradas a seguir.

- Dimensões e constituição apropriadas das unidades experimentais. Os componentes das unidades devem manifestar na amostra comportamento similar ao da população objetivo. Em experimentos com animais e plantas, por exemplo, as dimensões e a composição das unidades devem ser apropriadas para que os animais e plantas estejam sob condições referentes à densidade de indivíduos, ambiente e manejo que lhes permitam o comportamento usual nas instalações e lavouras consideradas na população objetivo.

- Controle das características estranhas veiculadas com os tratamentos. Tratamentos devem manifestar-se na amostra segundo suas definições. A obediência a esse requisito é usualmente inviável, já que tratamentos são comumente veiculados com características estranhas. Entretanto, em experimentos comparativos é usualmente essencial apenas a homogeneidade dessas características entre os tratamentos. O pesquisador deve exercer o controle apropriado para lograr essa homogeneidade. Assim, por exemplo, se os tratamentos são cultivares, as sementes devem ser homogêneas quanto a vigor, sanidade e pureza; se os tratamentos são dietas, as dietas devem ser formuladas segundo suas definições e serem homogêneas quanto a características estranhas referentes à qualidade, quantidade e forma de fornecimento.

- Controle da aplicação dos tratamentos. Mesmo sob a suposição de homogeneidade das características estranhas veiculadas com os tratamentos, em algumas circunstâncias pode ser difícil ou inviável a aplicação dos tratamentos segundo suas definições. Por exemplo, em um experimento do efeito da umidade da semente de soja sobre sua qualidade fisiológica após um período de armazenamento com níveis de umidade 10%, 12%, 14% e 16%, os níveis logrados na amostra usualmente não são exatamente esses; o nível nominal de 10% pode ser implementado como 9,8 ou 10,2%, por exemplo. Se o pesquisador está ciente de que esse é o tratamento realmente aplicado e o leva apropriadamente em conta nos procedimentos de análise estatística esse viés é corrigido e não tem implicações para as inferências.

- Controle da manifestação de características do ambiente. Características estranhas do ambiente podem manifestar-se na amostra diferentemente do modo como se manifestam na população objetivo. Nessas circunstâncias, essas características são fontes de viés extrínseco. Por exemplo, ocorrências de granizo e de vento, temperatura e precipitação fora dos limites considerados na população objetivo; incidências de insetos, doenças fúngicas, invasoras e predadores em experimentos agrícolas de campo, e de doenças e vermes em experimentos com animais. Em algumas circunstâncias viés extrínseco dessa origem pode ser evitado ou reduzido por controle de técnicas experimentais, através de medidas preventivas; por exemplo, uso de inseticidas, fungicidas, herbicidas e proteção contra predadores, no primeiro exemplo, e administração de medicamentos, no segundo. Entretanto, em experimentos em ambientes naturais, esse controle é limitado; por exemplo, características referentes a clima geralmente não são controláveis.

- Controle da implementação de operações necessárias para o funcionamento das unidades. Essas operações devem ser implementadas na amostra na forma como são efetuadas na população objetivo. Operações falhas podem originar viés extrínseco. Em particular, técnicas de cultivo de plantas (plantio, aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas, e colheita, por exemplo) e técnicas de manejo de animais (provimento de alimento e de água, aplicação de medicamentos, etc.) devem ser implementadas na forma como são empregadas nas lavouras e unidades de criação consideradas na população objetivo.

- Emprego de técnicas experimentais propositais para o controle do funcionamento das unidades. Usualmente as unidades da amostra não são unidades da população objetivo, mas unidades construídas para representar essas unidades. O emprego de técnicas não usuais na população objetivo pode propiciar a melhor representatividade do funcionamento das unidades da amostra. Por exemplo: a) uso de bordadura na parcela em experimentos com plantas para propiciar que as plantas manifestem nas unidades experimentais comportamento mais similar ao das lavouras; b) produção de infecção artificial dos animais em um experimento sobre o controle de uma infecção para simular o comportamento de animais infectados na população objetivo; c) infestação de insetos em um experimento sobre a resistência de cultivares a uma praga para propósito semelhante.

9.1.1.3 Relação entre validade interna, validade externa e precisão

A validade das inferências derivadas da amostra para a população objetivo requer a validade interna e a validade externa. A discussão anterior ressaltou que o atendimento a esses dois requisitos algumas vezes é conflitante, já que ações para o aumento da validade interna podem sacrificar a validade externa e ações para o incremento da validade externa podem prejudicar a validade interna.

A validade interna é necessária para inferências referentes a relações causais que constituem o objetivo do experimento. Por essa razão ela é o requisito mínimo essencial do plano do experimento. Ela tem implicações para a resposta à questão: Os fatores

experimentais têm efeitos sobre as variáveis respostas nas condições específicas representadas pela amostra? A validade externa relaciona-se à resposta a essa questão para as unidades de interesse na pesquisa: esses efeitos estendem-se para a população objetivo? Essas duas respostas são obviamente importantes. Enquanto a validade interna seja o critério essencial e a questão de extensão para a população objetivo, como a questão de inferência indutiva, nunca seja completamente resolvida, é altamente desejável que o plano do experimento contemple esses dois requisitos.

As importâncias relativas da validade interna e da validade externa dependem dos objetivos do experimento e do estado de conhecimento. Elas são distintas para experimento básico e experimento tecnológico. No experimento básico a validade interna assume importância elevada, pois o objetivo é a verificação de existência ou não da relação causal formulada pela hipótese de pesquisa; a validade externa é freqüentemente de menor interesse. No experimento tecnológico a validade externa tende a ser mais relevante por razão da importância que é atribuída à aplicação do conhecimento sobre a relação causal sob pesquisa a contextos aplicados. Por exemplo, um teste preliminar de novas drogas para controle de uma doença em humanos pode ser feito em um experimento com cobaias. Entretanto, em uma etapa mais avançada da pesquisa esse teste deve ser efetuado com humanos representativos da população de indivíduos acometidos dessa doença.

As importâncias relativas da validade interna e da validade externa também dependem do estado do conhecimento na área. Por exemplo, na fase inicial de um programa de pesquisa a identificação de efeitos causais de diferenças de tratamentos tem importância elevada. Nessa fase a busca por tratamentos possivelmente efetivos tolera planos e delineamentos experimentais que não atendam a alguns requisitos e princípios básicos, e permite muitas declarações falsas de eficiências de tratamentos para não negligenciar a identificação de tratamentos possivelmente efetivos. Na medida em que se acumula novo conhecimento, a validade externa assume importância mais elevada para destacar aqueles tratamentos que realmente têm melhor desempenho sob pelo menos circunstâncias ideais. Na última fase da pesquisa, a validade externa é prioritária, especialmente para caracterização do desempenho dos tratamentos sob as condições das situações reais.

De fato, a validade interna e a validade externa não são tão incompatíveis. Essa incompatibilidade, mais aparente do que real, pode ser resolvida pelo emprego equilibrado do controle de técnicas experimentais e pela casualização. Particularmente, o pesquisador deve planejar cada uma das ações de controle de técnicas experimentais de modo a lograr o equilíbrio apropriado entre as conseqüências para a validade interna e a validade externa.

Algumas ações que beneficiam a validade interna ou a validade externa podem afetar a precisão de modo desfavorável. Usualmente, entretanto, esse impacto negativo pode ser evitado com o uso equilibrado do controle de técnicas experimentais (**Seção 5.6.1**) e, principalmente, pelo emprego do controle local (**Seção 5.6.2**) e do controle estatístico (**Seção 5.6.3**). Por exemplo, em certos experimentos tecnológicos a representação da variabilidade das unidades da população objetivo no espaço e no tempo requer que a amostra seja constituída por unidades dispostas em diversas locais e períodos de um intervalo de tempo. A variabilidade das unidades da amostra dessa origem pode ser controlada por controle local que leve em conta a classificação dessas unidades segundo suas posições no espaço e no tempo.

A **Tabela 6.1** apresenta um resumo das conseqüências dos procedimentos de controle experimental apropriadamente implementados para a precisão, a validade interna e a validade externa. A **Tabela 6.2** resume as conseqüências de definições apropriadas referentes a: variáveis respostas, fatores experimentais e seus níveis, amostra inicial, tamanho do experimento e unidades experimentais; e a **Tabela 6.3**, as conseqüências de ações apropriadas referentes a técnicas experimentais.

Tabela 6.1. Conseqüências dos procedimentos de controle experimental apropriadamente implementados para a precisão, a validade interna e a validade externa.

Ações e ocorrências no experimento	Conseqüências para:		
	Precisão	Validade interna	Validade externa
Controle local	Beneficia	-	-
Controle estatístico	Beneficia	Beneficia	-
Controle de técnicas experimentais	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Casualização	-	Beneficia	-

Tabela 6.2. Conseqüências para a precisão, a validade interna e a validade externa das definições apropriadas referentes a: variáveis respostas, fatores experimentais e seus níveis, amostra inicial, tamanho do experimento e unidades experimentais.

Definição referentes a:	Precisão	Validade interna	Validade externa
Variáveis respostas	Afeta	-	Afeta
Fatores experimentais e seus níveis	Afeta	-	Afeta
Amostra inicial	Afeta	-	Afeta
Tamanho do experimento	Afeta	-	-
Unidades experimentais	Afeta	Afeta	-

Tabela 6.3. Conseqüências para a precisão, a validade interna e a validade externa de ações referentes a técnicas experimentais apropriadamente implementadas.

Ação	Precisão	Validade interna	Validade externa
Homogeneização das características estranhas da amostra inicial	Beneficia	-	Prejudica
Dimensões e constituição apropriadas das unidades experimentais	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Controle das características estranhas veiculadas com tratamentos	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Controle da aplicação dos tratamentos	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Controle da manifestação de características do ambiente	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Controle da implementação de operações necessárias para o funcionamento das unidades	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Emprego de técnicas experimentais propositais para o controle do funcionamento das unidades	Beneficia	Beneficia	Beneficia
Controle de efeitos das unidades	-	Beneficia	-
Controle de efeitos do pesquisador	-	Beneficia	-
Emprego de procedimentos e instrumentos de mensuração apropriados	Beneficia	Beneficia	-

6.5.5 Simplicidade, economia de recursos e exeqüibilidade

O plano deve garantir a consecução dos objetivos do experimento com o máximo de simplicidade e o custo mínimo.

Em primeiro lugar o plano deve ser exeqüível com os recursos financeiros, humanos e materiais disponíveis. Essa é uma condição necessária para garantia de que o plano possa ser executado e completado. Esforços e recursos têm sido desperdiçados por alteração, suspensão ou não obediência de planos de experimentos em decorrência de falta ou indisponibilidade de recursos nos momentos em que são necessários. Particularmente, modificações de planos muito freqüentemente implicam o não atendimento de requisitos importantes com conseqüentes prejuízos para a concretização dos objetivos da pesquisa.

Em algumas situações, há restrições de ordem prática que devem ser levadas em conta no planejamento do experimento. Por exemplo, se a execução do experimento vai ser feita por pessoas com pouca habilidade e experiência pode ser difícil conseguir a compreensão de tarefas complexas, mesmo que detalhadamente descritas no protocolo e em instruções que são fornecidas; se o experimento é conduzido em propriedades particulares, como uma empresa agrícola ou uma indústria, pode ser importante interferir o menos possível no processo de produção. Essas restrições podem conduzir à escolha de alternativas que não atendam a requisitos importantes. A adoção dessas alternativas deve ser bem ponderada, tendo em conta as importâncias relativas das conveniências práticas e das propriedades desejáveis do plano do experimento. Ela somente pode ser admitida se as propriedades mínimas relevantes para as inferências forem satisfeitas.

A exeqüibilidade não é justificativa para falhas de planejamento que inviabilizem ou invalidem as inferências que constituem o objeto do experimento. Experimento cuja exeqüibilidade requeira sacrifício dessas inferências não deve ser executado, pois não proverá informações relevantes. Para ilustração, considere-se um experimento para comparar quatro lotações de animais em pastoreio e suponha-se que são disponíveis apenas quatro poteiros de modo que cada lotação deva ser assinalada a apenas um poteiro (exemplo da **Seção 9.1.1.1**). Com esse plano o experimento não propiciará a estimação do erro experimental apropriado para as inferências referentes a efeitos de lotações. Portanto, não proverá inferências válidas referentes a esses efeitos.

Em experimentos de longa duração é conveniente que o plano estabeleça avaliações periódicas do andamento da pesquisa para decisão referente a sua continuação, conclusão ou suspensão. Em algumas situações, antes do prazo estabelecido para a conclusão, experimentos revelam resultados que satisfazem os objetivos, ou que salientam a inconveniência do prosseguimento do esforço de pesquisa, possivelmente em decorrência de algum evento que causou prejuízo irreversível, ou que recomendam alterações referentes a fatores experimentais ou a seus níveis. Assim, avaliações periódicas podem evitar o desperdício de recursos e de tempo conseqüentes do prosseguimento de experimentos que não vão conduzir a novas informações úteis.

O plano do experimento deve contemplar, em cada uma das etapas e segmentos do experimento, as ações que demandem o menor uso de recursos, entre as alternativas igualmente apropriadas. A parcimônia é um requerimento que deve ser levado em conta em todo o esforço científico.

A simplicidade é uma propriedade relacionada com a exeqüibilidade e a economia de recursos. A simplicidade dos métodos e procedimentos de pesquisa tem implicações para a otimização do uso de recursos e as facilidades práticas para a condução do experimento. Em particular, a estrutura das condições experimentais, a estrutura da resposta, o controle experimental e a conseqüente estrutura das unidades devem ser tão simples quanto possível, desde que apropriados para a consecução dos objetivos do experimento. A importância dessa simplicidade é mais saliente em experimentos de

abrangência ampla, que devem ser conduzidos em diversos locais e por diversos anos com a colaboração de equipes com formação heterogênea. Nesses experimentos, a simplicidade de métodos e procedimentos facilita suas compreensões, pode contribuir para a melhor qualidade da execução e evitar tendenciosidade decorrente de erros de implementação de ações definidas no plano do experimento. Naturalmente, maior contribuição para evitar falhas dessa origem pode ser suprida por treinamento de colaboradores e instruções escritas, detalhadas e claras.

Essas considerações aplicam-se igualmente aos métodos de análise dos resultados. Felizmente, os requerimentos de eficiência do delineamento do experimento e de simplicidade dos métodos de análise são usualmente altamente correlacionados. De modo geral, para os delineamentos experimentais usualmente mais eficientes são disponíveis procedimentos de análise estatística apropriados, desde que certas pressuposições sejam satisfeitas. A crescente disponibilidade de recursos de computação eletrônica que são providos por microcomputadores e "pacotes" de análise estatística tem tornado a tarefa de análise de dados cada vez mais facilitada e viabiliza a utilização dos métodos de análise mais adequados para cada situação particular.

6.5.6 Manifestação dos efeitos reais dos tratamentos

Uma propriedade importante do plano do experimento é prover habilidade para que efeitos reais dos tratamentos se manifestem na amostra. Essa propriedade compreende exigências referentes à estrutura das condições experimentais e obediência aos requisitos de precisão, validade interna e validade externa. A relevância desse requisito do plano do experimento justifica a reiteração de algumas considerações anteriores.

a) Tratamentos devem distinguir-se por atributos simples e identificáveis. O não atendimento dessa condição pelo plano do experimento pode implicar que as inferências revelem diferenças de efeitos de tratamentos que tenham duas ou mais interpretações. Para ilustração, considere-se um experimento para pesquisa do efeito da adubação com nitrogênio em cobertura em lavouras de arroz irrigado cujos tratamentos são quatro doses de nitrogênio precedidas de adubação básica ao preparo do solo (adubação comum para todas as unidades experimentais) que inclui nitrogênio. Nessas circunstâncias, se as inferências não revelarem diferenças de efeitos de tratamentos, o pesquisador não terá como saber se esse resultado decorreu da inexistência de efeito de nitrogênio aplicado em cobertura ou do nitrogênio necessário ter sido suprido pela adubação básica. Geralmente, ambigüidades dessa origem podem ser evitadas pela inclusão de tratamentos adicionais aparentemente sem interesse para os objetivos do experimento; em algumas situações pelo estabelecimento de uma estrutura fatorial para os tratamentos. Assim, no exemplo anterior, a dubiedade de interpretação pode ser evitada pela consideração de uma estrutura de tratamentos constituída das combinações dos níveis de dois fatores: fator 1 - adubação ao preparo do solo com dois níveis: sem e com adubação, e fator 2 - adubação em cobertura com os níveis constituídos pelas doses definidas originalmente.

b) Tratamentos devem ser implementados na amostra conforme as definições estabelecidas no plano do experimento. Em experimentos comparativos a condição fundamental para a validade interna é a concordância entre as diferenças de tratamentos implementadas na amostra e as diferenças entre os tratamentos definidos no plano do experimento. Essa é uma condição necessária para a validade externa das inferências referentes a comparações de tratamentos. Seu atendimento requer homogeneidade das características estranhas veiculadas com os tratamentos. Assim, por exemplo, se os tratamentos são cultivares as sementes de cultivares distintas devem ser homogêneas quanto a vigor, sanidade, pureza e demais características não referentes à cultivar; se os tratamentos são dietas, as dietas devem ser formuladas segundo suas definições e serem homogêneas quanto a características estranhas referentes à qualidade, quantidade e forma de fornecimento. Essa homogeneidade de características estranhas

entre os tratamentos pode ser alcançada através de controle de técnicas experimentais cuidadoso.

c) Efeitos de tratamentos, se existentes, devem manifestar-se na amostra. O experimento mais elaborado pode revelar-se ineficaz se a amostra não propiciar a manifestação dos efeitos reais dos tratamentos. Por exemplo, em um experimento de comparação da eficácia de inseticidas no controle de uma praga as diferenças de efeitos de inseticidas somente poderão ser manifestar se houver a presença de insetos na área experimental. Semelhantemente, em um experimento para pesquisa da eficácia de medicamentos para o controle de uma doença de animais os tratamentos não poderão revelar diferenças se forem aplicados a animais que não manifestem essa doença. Nessas circunstâncias torna-se necessário o uso de um ou mais tratamentos particulares adicionais que informem sobre a presença no material experimental das condições necessárias para que os tratamentos manifestem seus efeitos. Esses tratamentos particulares (ausência de inseticida e de antibiótico, nos exemplos) são usualmente designados controles ou testemunhas.

Efeitos de tratamentos requerem tempo para sua manifestação e usualmente não são constantes nesse tempo. Ademais, a variação desses efeitos ao longo do tempo pode diferir entre os tratamentos. A amplitude do período experimental deve ser determinada de modo que os tratamentos tenham tempo para manifestar seus efeitos relevantes e revelar a variação desses efeitos. Em alguns experimentos a variação dos efeitos dos tratamentos com o tempo é inerente aos objetivos da pesquisa. Por exemplo, em um experimento de nutrição de cordeiros podem ser importantes os efeitos das dietas sobre o desenvolvimento ponderal dos animais em um intervalo de tempo; em um experimento sobre o efeito da temperatura de armazenamento da semente de uma cultivar de soja podem ser relevantes inferências referentes a diferenças de efeitos de temperatura e à variação dessas diferenças com o tempo.

d) Efeitos de tratamentos devem manifestar-se livre de confundimento com efeitos de outros tratamentos. A observação em uma unidade não deve ser afetada por uma assinalação particular dos tratamentos às outras unidades. Isso significa que não pode haver interferência de efeitos de tratamentos. Em experimentos em que os efeitos dos tratamentos têm abrangência espacial restrita ou as unidades são fisicamente distintas esse requisito não demanda preocupação. Em algumas situações, entretanto, efeitos de tratamentos têm abrangência espacial ou temporal que pode implicar que a observação em uma unidade seja afetada por tratamentos assinalados em outras unidades. Por exemplo, confundimento de efeitos de tratamentos pode ocorrer: a) em experimentos com plantas referentes a controle de pragas, doenças e invasoras, e a irrigação e adubação; e b) em experimentos com animais sobre controle de doenças e parasitos. Nesses casos interferências entre as unidades podem decorrer da contaminação de tratamentos, ou seja, da passagem de inseticidas, fungicidas, herbicidas, água, fertilizantes e anti-helmínticos, ou do deslocamento de insetos, fungos, plantas invasoras, parasitos, água e adubo entre as unidades. Confundimento de efeitos de tratamentos dessa origem deve ser controlado por técnicas experimentais, através do isolamento apropriado das unidades experimentais. Por exemplo, por meio de bordadura, espaçamento ou proteção, em experimentos de campo com plantas e animais. Em algumas situações pode ser conveniente verificar se ocorre transmissão de doenças, pragas e parasitos. A intercalação de parcelas em branco, ou seja, sem inseticida, fungicida, herbicida ou anti-helmíntico, por exemplo, pode ser útil para esse propósito.

Em alguns experimentos os mesmos indivíduos são usados como unidades em intervalos sucessivos do período experimental, recebendo diferentes tratamentos. Essa estrutura de unidades é adotada em situações em que é difícil obter número suficiente de indivíduos, ou para lograr maior homogeneidade de características estranhas referentes aos indivíduos e conseqüente precisão mais elevada para as comparações de tratamentos. Por exemplo, em experimentos com vacas leiteiras algumas vezes é

conveniente assinalar tratamentos diferentes aos mesmos animais no curso de um período de lactação. Essa estrutura de unidades efetua o controle local das características individuais dos animais que elimina os efeitos de diferenças sistemáticas entre animais das diferenças entre tratamentos e os separa da estimativa da variância do erro experimental que afeta essas diferenças. Entretanto, pode implicar confundimento de efeitos de tratamentos assinalados a mesmo indivíduo. Esse confundimento pode ser evitado por espaçamento entre os intervalos de aplicação dos tratamentos e por procedimentos apropriados de mensuração de características respostas. Suponha-se, por exemplo, um experimento de nutrição de vacas leiteiras com quatro dietas diferentes em que cada um dos animais recebe as 4 dietas nas correspondentes ordens definidas em 4 intervalos sucessivos de duas semanas e a produção de leite é mensurada pela produção média nos últimos dois ou três dias desses intervalos. Uma suposição básica para a validade das inferências desse experimento é que a produção de leite ao final de cada intervalo de duas semanas não seja afetada por efeito da dieta que o animal recebeu no intervalo interior. Naturalmente, se essa suposição for falsa, inferências sobre diferenças de efeitos de tratamentos serão tendenciosas. A possibilidade de interferência de efeitos de tratamentos entre intervalos pode ser diminuída por controle de técnicas experimentais apropriado, como, por exemplo, intercalação de intervalos de amplitude suficiente em que todos os animais sejam submetidos a um procedimento comum em lugar dos tratamentos.

O tempo requerido para que tratamentos produzam efeitos pode ser um inconveniente para a aplicação sucessiva de tratamentos em mesmos indivíduos. Muito freqüentemente a manifestação de efeitos de tratamentos requer tempo prolongado. Por exemplo, efeitos de dietas sobre a produção de leite podem requerer intervalos mais longos do que os permitidos por segmentos de um período de lactação. Para que dietas produzam seus efeitos reais pode ser necessária sua aplicação continuada por tempo mais longo. Assim, o pesquisador deve ter o cuidado de avaliar que a precisão adicional que possa ser obtida por essa estrutura de unidades não seja conseguida com o sacrifício da validade das inferências referentes aos efeitos dos tratamentos.

A interferência de efeitos de tratamentos entre unidades também pode ser considerada na formulação da estrutura do experimento. Particularmente no caso de experimentos em que tratamentos diferentes são aplicados sucessivamente sobre os mesmos animais, efeitos residuais de tratamentos podem ser levados em conta por delineamentos experimentais apropriados. Por exemplo, por delineamento de que cada um dos tratamentos suceda cada um dos demais tratamentos o mesmo número de vezes. Esse delineamento propicia o balanceamento dos efeitos residuais dos tratamentos de modo que esses efeitos afetem igualmente todos os tratamentos.

e) Efeitos de tratamentos devem manifestar-se na amostra sem confundimento com fonte de variação estranha sistemática. Esse é uma exigência para a validade interna e a validade externa. O plano do experimento deve garantir que todas as características estranhas relevantes sejam controladas por técnicas experimentais, controle local ou controle estatístico, ou sejam casualizadas. Em particular, deve ser evitada a presença ou introdução de qualquer fonte de variação estranha durante a execução do experimento que possa constituir variação sistemática. Assim, qualquer técnica experimental ou interferência estranha que possa constituir fonte de variação relevante deve ser submetida a controle experimental. Fontes de variação fora do controle do experimentador devem ser registradas para a consideração apropriada na fase de análise e interpretação dos resultados.

6.5.7 Previsão dos procedimentos de inferência estatística e provimento de medida de incerteza das inferências

O plano do experimento deve prever os procedimentos de inferência estatística a serem adotadas na fase de análise dos dados. Inferências estatísticas são inferências

indutivas; portanto, são incertas. Uma propriedade importante dos métodos estatísticos é que a incerteza das inferências que provê podem ser conhecidas ou estabelecidas pelo pesquisador.

Graus de incerteza de inferências são expressos por estimativas de erros padrões que afetam estimativas de efeitos de fatores experimentais, particularmente estimativas de efeitos de tratamentos e de diferenças desses efeitos, ou por limites de erros de decisões referentes a esses efeitos para probabilidades fixadas pelo pesquisador.

Efeitos de fatores experimentais sobre valores de uma variável resposta nas unidades da população amostrada podem ser constantes para todas as unidades ou realizações de uma variável aleatória com uma certa distribuição de probabilidade. Esse tema será tratado no **Capítulo 10**. Em qualquer dessas duas situações esses efeitos são desconhecidos. No primeiro caso, inferências de interesse se referem à grandeza dos efeitos; no segundo, à variabilidade dos efeitos entre as unidades.

A razão para a realização do experimento é inferir sobre a existência real e sobre a grandeza ou variabilidade de cada efeito relevante. Conforme tem sido salientado, inferências objetivas derivadas por métodos estatísticos aplicam-se validamente à população amostrada; não necessariamente à população objetivo. Por essa razão, as referências que são feitas sobre a aplicabilidade dessas inferências referem-se à população amostrada.

Os processos de inferência estatística são basicamente de dois tipos: estimação e teste de hipótese. O processo de **estimação** consiste em determinar uma aproximação ou **estimativa** da magnitude ou da variabilidade do efeito, com base nos valores observados da variável resposta. Como um efeito de fator experimental manifesta-se invariavelmente confundido com efeitos de características estranhas, uma estimativa usualmente difere do valor real do efeito. Estimativas de erros padrões são medidas da incerteza de inferências pelo processo de estimação. Um processo de estimação alternativo consiste em determinar um intervalo, designado **intervalo de confiança**, que contenha o efeito com uma probabilidade convenientemente fixada. Nesse caso medidas de incertezas de inferências são as probabilidades fixadas a priori pelo pesquisador.

O **teste de hipótese** é um processo de decisão entre duas hipóteses alternativas sobre o efeito: o efeito não existe ou o efeito existe. Uma hipótese estatística compreende essas duas hipóteses, que são usualmente denominadas, respectivamente, **hipótese de nulidade** e **hipótese alternativa** e denotadas por H_0 e H_A :

$$\begin{cases} H_0 : \text{o efeito não existe} \\ H_A : \text{o efeito existe} \end{cases}$$

Como o efeito manifesta-se confundido com efeitos de características estranhas, a decisão poderá ser concordante ou discordante da situação real (que é desconhecida), o que significa que poderá ser correta ou incorreta. Esse processo de decisão conduz a uma de quatro possibilidades, duas das quais correspondem a acerto e as outras duas, a erro. Esse processo de decisão é ilustrado na **Tabela 6.4**.

Tabela 6.4. Alternativas que podem ocorrer no processo de teste de uma hipótese.

Situação real	Decisão	
	H ₀ : Efeito não existe	H _A : Efeito existe
Efeito não existe	Correta	Incorreta Erro tipo 1
Efeito existe	Incorreta Erro tipo 2	Correta

O erro que corresponde à decisão incorreta de declarar que o efeito existe quando ele não existe é denominado **erro tipo 1**. O outro erro de decisão, correspondente a declarar que o efeito não existe quando ele existe é denominado **erro tipo 2**.

Nesse processo de decisão o pesquisador tem que estabelecer as probabilidades desses dois tipos de erro, segundo suas importâncias relativas. Naturalmente, ele gostaria de atribuir valores muito pequenos aos dois erros. Ocorre, entretanto, que, quando a probabilidade de um desses erros é reduzida, a do outro é aumentada.

Muito freqüentemente, o pesquisador tem a expectativa da presença de efeito real de um fator experimental e executa o experimento para comprovar essa expectativa objetivamente. Nessas circunstâncias, o pesquisador deseja atribuir elevada probabilidade de declarar a existência do efeito se esse efeito realmente existir. Essa probabilidade é designada **potência do teste**. Por outro lado, usualmente é mais difícil controlar o erro tipo 2 do que o tipo 1. Então, muito freqüentemente, o pesquisador fixa apenas a probabilidade do erro tipo 1 em um valor convenientemente pequeno, mas não demasiadamente pequeno para que a probabilidade do erro tipo 2 não resulte inconvenientemente alta. Essa probabilidade fixada para o erro tipo 1 é denominada **nível de significância** do teste.

O nível de significância é uma medida da incerteza da inferência gerada pelo processo de teste de hipótese, que é fixada pelo pesquisador.

A validade dessas medidas de incerteza requer a origem aleatória e a não tendenciosidade das estimativas dos desvios padrões que afetam efeitos de fatores experimentais e, por consequência, uma estimativa válida do erro experimental.

Em experimentos comparativos hipóteses comumente importantes referem-se a diferenças de efeitos ou médias de tratamentos. Por exemplo, no caso de dois tratamentos com médias populacionais m_1 e m_2 , se não há razão a priori que estabeleça que se $m_1 \neq m_2$ então $m_1 > m_2$ (ou $m_1 < m_2$), a hipótese estatística é expressa por:

$$\begin{cases} H_0 : m_1 - m_2 = 0 \\ H_A : m_1 - m_2 \neq 0 \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} H_0 : m_1 = m_2 \\ H_A : m_1 \neq m_2 \end{cases}$$

A hipótese H_0 será rejeitada se a diferença entre as estimativas das médias m_1 e m_2 providas pela amostra for consideravelmente grande, qualquer que seja seu sinal, para ser atribuída apenas ao erro experimental. Essa hipótese é denominada **hipótese bilateral**. Em algumas situações, razão a priori estabelece que se $m_1 \neq m_2$ então $m_1 > m_2$ (ou $m_1 < m_2$); Nessas circunstâncias, a hipótese é denominada **hipótese unilateral** e a hipótese alternativa tem a seguinte expressão:

$$H_A: m_1 - m_2 > 0 \quad \text{ou} \quad H_A: m_1 > m_2, \text{ se } m_1 \text{ não puder ser menor que } m_2,$$

ou

$$H_A: m_1 - m_2 < 0 \quad \text{ou} \quad H_A: m_1 < m_2, \text{ se } m_1 \text{ não puder ser maior que } m_2.$$

Então, a hipótese de nulidade é rejeitada apenas se o sinal da diferença entre as estimativas das médias dos dois tratamentos for o mesmo estabelecido pela hipótese alternativa para a diferença das correspondentes médias populacionais.

Por exemplo, hipóteses referentes a médias populacionais referentes a peso da produção de grãos de cultivares são usualmente bilaterais, pois, em geral, não há razão para estabelecer a priori que, se as médias de duas cultivares são diferentes, uma delas (conhecida a priori) é maior do que a outra. Por outro lado, uma hipótese referente à diferença entre a média de um inseticida, fungicida ou antibiótico e a média de um tratamento controle correspondente à ausência de pesticida é usualmente unilateral, pois muito freqüentemente há razão a priori para estabelecer que o pesticida não pode ter outro efeito que não seja o controle do inseto, fungo ou agente da doença. Hipóteses bilaterais são mais comuns do que hipóteses unilaterais.

Exercícios 6.2

1. Explique porque usualmente é impossível lograr a validade absoluta das inferências originadas do experimento.
2. O que significa o viés do experimento. Qual é a distinção entre viés intrínseco e viés extrínseco. Qual é a fonte genérica do viés intrínseco? Qual é a fonte genérica do viés extrínseco?
3. Qual é a condição que a variação dos valores observados da variável resposta não atribuível a efeitos dos fatores experimentais e de características estranhas controladas por controle local e controle estatístico deve satisfazer para a validade interna das inferências referentes aos efeitos de fatores experimentais?
4. Explique e ilustre com um exemplo como a definição inadequada das unidades experimentais pode implicar viés intrínseco do experimento.
5. Dê um exemplo de experimento em que possa ocorrer contaminação de efeitos de tratamentos em parcelas vizinhas. Que ações devem ser adotadas para evitar confundimento de efeitos de tratamentos dessa origem nesse experimento particular? E em outras situações?
6. Explique as implicações que os procedimentos de mensuração de características respostas podem ter para a precisão, a validade interna e a validade externa.
7. Exemplifique uma situação em que a definição da variável resposta possa implicar viés extrínseco.
8. Explique com ilustrações como a escolha da amostra inicial pode ter implicações para a precisão e a validade externa do experimento.
9. Explique como a escolha dos fatores experimentais pode beneficiar a validade externa do experimento.
10. Considere um dos experimentos usados como ilustração nos exercícios 3 e 4 dos **Exercícios 6.1**.
 - a) Descreva as ações que devem ser consideradas no plano desse experimento para lograr validade interna elevada.
 - b) Identifique entre essas ações aquelas que podem ter implicações desfavoráveis para a precisão. Qual é a atitude que o pesquisador deve tomar nessas circunstâncias?
 - c) Descreva as ações apropriadas para a validade externa elevada. Identifique entre essas ações aquelas que possam ter implicações desfavoráveis para a validade interna.
11. Qual é a consequência da ocorrência de uma característica estranha perturbadora para a precisão, a validade interna e a validade externa do experimento.
12. Suponha que esteja sendo planejado um experimento de laboratório com cobaias para verificar a eficiência de uma nova terapia e o pesquisador decide alocar animais machos a essa nova terapia e fêmeas à terapia usual.
 - a) Qual requisito do plano do experimental é violado com esse procedimento de alocação dos animais aos tratamentos? Indique um procedimento apropriado para atendimento a esse requisito.

- b) Supondo que os animais de cada um dos sexos sejam homogêneos, indique a estrutura das unidades apropriadas para consideração.
13. Está sendo planejado um experimento para comparação do efeito da temperatura do ambiente sobre a preservação da semente de uma cultivar de soja. Serão consideradas na amostra três temperaturas de armazenamento: 16°C, 22°C e 28°C. Vinte sacos de sementes de uma mesma procedência serão armazenados por seis meses em cada uma de três câmaras de armazenamento, uma câmara com cada uma dessas três temperaturas.
- a) Caracterize a unidade experimental.
- b) A variação entre sacos de sementes dentro de câmara de armazenamento poderá prover uma estimativa do erro experimental válida para inferências referentes a efeitos de temperatura de armazenamento? Justifique a resposta
- c) Esse experimento poderá prover uma estimativa válida do erro experimental para essas inferências? Porque?
- d) Sugira uma alteração do plano do experimento que poderia propiciar a estimação válida do erro experimental para essas inferências.
14. Indique as conseqüências que podem resultar para a precisão, a validade interna e a validade externa de cada uma das ações listadas a seguir, preenchendo nas correspondentes células as letras A - aumento, D - diminuição, N - nenhuma.

Ação	Precisão	Validade interna	Validade externa
Repetição:			
Controle local:			
Controle estatístico:			
Casualização:			
Controle de técnicas experimentais:			

15. Porque efeitos reais de tratamentos podem não se manifestar na amostra?
16. Inferências originadas do experimento podem ser falsas. Explique a razão da importância da utilização de métodos estatísticos nessas circunstâncias.

6.6 Princípios Básicos do Delineamento do Experimento

Os requisitos do plano do experimento demandam algumas propriedades do delineamento experimental. Essas propriedades, mais usualmente denominadas princípios básicos do delineamento do experimento, são as seguintes:

- repetição,
- controle local,
- casualização,
- ortogonalidade,
- balanceamento,
- confundimento e
- eficiência.

Esses princípios básicos são essenciais para que a relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades assegure capacidade para a detecção de efeitos relevantes de fatores experimentais de modo sensível e não tendencioso.

6.6.1 Repetição

Um efeito de fatores experimentais é uma função dos níveis ou das combinações dos níveis desses fatores (**Seção 6.4**). Inferências referentes a um efeito de fatores experimentais requerem uma estimativa do erro que afeta esses efeitos (**Seções 6.5.2**). Uma estimativa da variância do erro que afeta um efeito de fatores experimentais provém de unidades experimentais com um mesmo nível ou uma mesma combinação dos níveis desses fatores. Assim, essa estimativa requer pelo menos duas unidades experimentais com um mesmo nível ou uma mesma combinação de níveis desses fatores. Essas unidades experimentais constituem repetições desse nível ou dessa combinação de níveis (**Seção 5.4**).

A repetição ou unidade experimental é a unidade de informação do erro experimental. Portanto, sua definição apropriada é um requerimento do delineamento do experimento. A identificação da repetição para os níveis ou combinações de níveis de fatores experimentais requer a caracterização correta das correspondentes unidades experimentais.

Algumas vezes valores de uma variável resposta observados em duas ou mais frações do material experimental ou em dois ou mais instantes sucessivos em cada unidade experimental são incorretamente considerados como provenientes de diversas repetições. De fato, esses valores observados em uma mesma unidade experimental são observações múltiplas ou observações repetidas; não são repetições da condição experimental nessa unidade experimental. Os exemplos que seguem são ilustrativos.

Exemplo 6.3

a) Considere-se um experimento para pesquisa do efeito da suplementação da dieta após o desmame de bovinos de corte machos da raça Ibagé criados em campo natural com dois tratamentos: com suplementação e sem suplementação. Suponha que são assinalados 32 animais a cada um de dois poteiros e, então, a suplementação é administrada aos animais de um dos poteiros, permanecendo os animais do outro poteiro sem suplementação. As mensurações de variáveis respostas referentes ao desempenho dos animais (ganho de peso, por exemplo) são efetuadas individualmente em cada um dos 64 animais. Um esquema desse delineamento é apresentado na **Figura 6.4**.

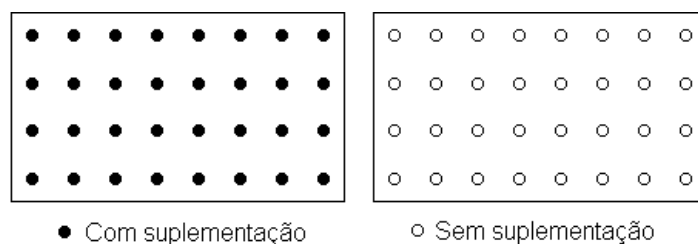


Figura 6.4. Croqui de delineamento com 2 tratamentos e 2 unidades experimentais cada uma com dezesseis unidades de observação, **Exemplo 6.3**.

Como os tratamentos são atribuídos aos poteiros, os dezesseis animais de cada poteiro são condicionados a receberem um mesmo tratamento. Logo, a unidade experimental para o fator experimental suplementação da dieta é um poteiro com dezesseis animais; cada animal é uma unidade de observação. Portanto, esse delineamento contempla apenas uma repetição (ou seja, uma unidade experimental) para cada um dos dois tratamentos.

Suponha-se que inadvertidamente o pesquisador considere os animais dentro de poteiros como repetições para obter uma estimativa do erro experimental para inferências referentes à suplementação da dieta. A diferença entre os efeitos dos tratamentos com suplementação e sem suplementação provém das médias de ganho de peso observadas nos dois poteiros. Essa diferença tem a seguinte composição: diferenças entre animais dentro de poteiros (A), diferenças

entre poteiros (P), diferenças de resposta aos tratamentos quando aplicados a poteiros diferentes, ou seja, interação entre tratamento e poteiro (TxP), e diferença entre tratamentos (T), se existente. Por outro lado, a variação entre animais dentro de poteiro compreende apenas diferenças entre animais (A). Assim, se a variação entre as médias dos dois tratamentos ($A+P+T \times P+T$) revelar-se superior à variação entre animais dentro de poteiro (A), essa superioridade não poderá ser atribuída à diferença dos efeitos dos tratamentos (T), já que ela poderia decorrer de diferenças entre os animais, entre os poteiros e da interação entre tratamento e poteiro, além da diferença entre tratamentos. Isso significa que a variação entre animais dentro de poteiro subestima o erro experimental que afeta as diferenças entre tratamentos. Um erro experimental válido (não tendencioso) para inferências referentes ao efeito da suplementação deve ter a mesma composição de características estranhas do erro experimental que afeta a fonte de variação que exprime efeitos dos tratamentos (**Seção 6.3**); portanto, deve ter a seguinte composição: $A+P+T \times P$, ou seja, deve compreender: diferenças entre animais, diferenças entre poteiros e interação entre tratamento e poteiro. Esse erro experimental deve provir da variação entre médias das observações de poteiros diferentes com um mesmo tratamento.

b) Suponha-se que o plano do experimento considerado no **Exemplo 6.3** é reformulado de modo que os 64 animais são assinalados a 16 poteiros, 4 animais a cada um dos 16 poteiros, e cada um dos dois tratamentos é atribuído aleatoriamente a 8 poteiros, conforme o esquema apresentado na **Figura 6.5**.

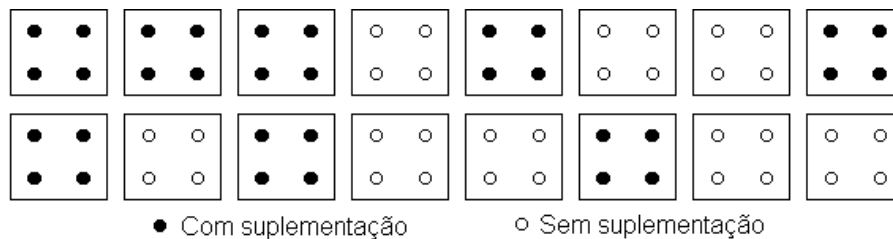


Figura 6.5. Croqui de delineamento com 2 tratamentos e 16 unidades experimentais com 4 unidades de observação por unidade experimental, **Exemplo 6.3**.

Como os tratamentos são atribuídos aos poteiros de modo que cada poteiro recebe um tratamento independentemente dos outros poteiros, agora a unidade experimental é o poteiro com 4 animais. Portanto, esse novo delineamento contempla 8 repetições para cada um dos 2 tratamentos.

Com essa estrutura de unidades não é efetuado controle local da variação estranha entre as unidades experimentais. Então, o erro experimental que afeta efeitos dos tratamentos é o próprio erro experimental global, que compreende toda aquela variação estranha. Uma estimativa da variância desse erro experimental é provida pela variação das médias das observações de poteiros com um mesmo tratamento.

Exemplo 6.4

Seja um experimento de fase inicial de pesquisa de melhoramento genético de plantas em que as sementes de cada uma de sete linhagem são semeadas em uma única linha. Então, cada uma das linhas é dividida em cinco segmentos para que em cada um dos segmentos sejam efetuadas observações referentes a variáveis respostas relevantes, como peso da produção de grãos, por exemplo. (**Figura 6.6**).

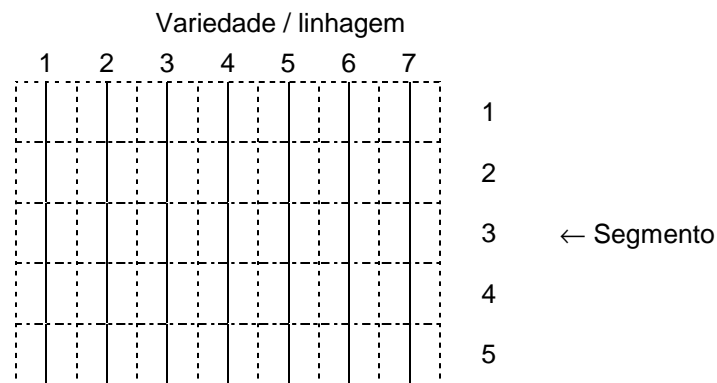


Figura 6.6. Experimento de comparação de sete linhagens com cada linhagem plantada em uma linha de oito segmentos.

Esse delineamento tem a conveniência prática de não requerer a mudança das sementes do equipamento utilizado no plantio de cada linha, enquanto que em um esquema experimental apropriado teria que haver a mudança das sementes várias vezes. Entretanto, semelhantemente ao **Exemplo 6.3**, as observações obtidas nos segmentos de uma mesma linha não provêm de frações da linha que receberam a linhagem particular independentemente das outras frações da mesma linha; essas frações são condicionadas a receberem uma mesma linhagem. Assim, de fato, cada linha inteira constitui uma unidade experimental. A variação entre as observações nos cinco segmentos de uma mesma linha constitui erro de observação dentro da linha, não erro experimental. Como esse delineamento contempla uma única unidade experimental para cada tratamento, ele não provê estimativa válida do erro experimental que afeta diferenças de efeitos de linhagens.

Observe-se que, com a mesma facilidade, o pesquisador poderia ter dividido cada linha em dez ou mais segmentos, imaginando que com número mais elevado de “repetições” poderia lograr precisão mais elevada para detectar diferenças de efeitos de tratamentos. Entretanto, esse procedimento não provê repetições (legítimas) e conduz à subestimação do erro experimental apropriado para essas inferências.

Esses exemplos ressaltam a importância da distinção entre unidade experimental e unidade de observação, ou entre repetição e observação múltipla, já que a estimativa da variância do erro de observação, obtida de amostras ou observações múltiplas nas unidades experimentais, é geralmente menor que a estimativa da variância do erro experimental, obtida de repetições ou de unidades experimentais. Inferências derivadas com o uso indevido da variância do erro de observação conduzem o pesquisador a cometer o erro de declarar falsas diferenças com freqüências muito mais elevadas do que ele está sujeito nesse processo de decisão.

Além de prover a estimação do erro experimental, a repetição também tem outras funções importantes: a) prover melhor representatividade da amostra; b) aumentar a precisão de inferências referentes a efeitos de tratamentos; c) permitir a constatação da reprodutibilidade dos resultados; e d) diminuir a tendenciosidade que possa decorrer de observações discrepantes devidas a acidentes não previstos.

Em muitos experimentos, a repetição é um meio de obter melhor representação da população objetivo pelo material experimental. Esse é o caso, por exemplo, de experimentos agrícolas com propósito de recomendar tecnologias para os agricultores de uma região. Nesses experimentos os tratamentos devem ser avaliados sob a variação das condições ambientais presentes na região, ou seja, em diversos locais que representem a amplitude da variação das condições de solo e de clima da região, e por diversos anos de modo que se possam manifestar as variações anuais do clima. Isso significa repetições no espaço e no tempo. O mesmo princípio deve ser utilizado em outros experimentos, mesmo sob condições aparentemente controladas. Assim, por

exemplo, experimentos de laboratório e de casa de vegetação podem ser repetidos várias vezes, possivelmente em diversos laboratórios e casas de vegetação e por diferentes pessoas, para determinar se os efeitos dos tratamentos se repetem sob variações de condições que possam ocorrer em diferentes instalações e ao longo do tempo.

A repetição não contribui necessariamente para o incremento da precisão do experimento (**Seção 6.5.3**), mas é muito importante para o aumento da precisão das estimativas de médias de tratamentos e de comparações dessas médias. O aumento do número de repetições contribuiu substancialmente para o aumento da precisão dessas estimativas e, portanto, da sensibilidade do experimento para detecção de diferenças de efeitos de tratamentos. Essa propriedade pode ser observada através da expressão da estimativa da variância da estimativa da média de um tratamento: $\widehat{\text{Var}}(\bar{y}_i) = s^2/r$, onde r é o número de repetições do tratamento i e s^2 é a estimativa da variância do erro experimental.

Como se verá adiante, a repetição, associada à casualização, também contribui para a não tendenciosidade da estimativa da variância do erro experimental e, conseqüentemente, contribui para a validade das inferências.

6.6.2 Controle local

O procedimento de controle local foi introduzido na **Seção 5.6.2**. Ele consiste na classificação das unidades de observação em grupos de unidades segundo os níveis de uma ou mais características estranhas e na consideração dessa classificação na atribuição dos tratamentos às unidades experimentais de modo que a variação entre esses grupos devida a essas características estranhas não afete efeitos relevantes de fatores experimentais e seja separada da variação atribuível ao erro experimental que afeta esses efeitos.

Se o material experimental é heterogêneo, o pesquisador pode deixar entre os grupos de unidades constituídos pelo controle local uma proporção considerável da variação estranha do material experimental. Conseqüentemente, se o controle local é eficiente, logra-se maior precisão das inferências referentes a efeitos de fatores experimentais; particularmente, mais sensibilidade do experimento para detectar diferenças de efeitos de tratamentos.

O controle local permite que, mesmo com material experimental apropriadamente heterogêneo para lograr a representação da população objetivo, o experimento possa ser suficientemente sensível para detectar efeitos importantes dos fatores experimentais. Assim, o exercício hábil do controle local é crucial para a construção de delineamento experimental eficiente, ou seja, delineamento cuja variância do erro experimental que afeta efeitos importantes de fatores experimentais seja pequena.

A situação mais simples de controle local é aquela em que as unidades de observação são as unidades experimentais elementares e são classificadas em grupos ou blocos de unidades segundo os níveis de uma característica estranha relevantes. Então, os tratamentos são assinalados às unidades de modo que efeitos relevantes de tratamentos não fiquem confundidos com efeitos de blocos. Uma ilustração desse delineamento em blocos é dada no **Exemplo 6.5**.

Exemplo 6.5

a) Suponha-se que o experimento para pesquisa do efeito da suplementação da dieta de novilhos considerado no **Exemplo 6.3** a) seja conduzido em terreno plano. É de esperar que pastagens de poteiros próximos sejam mais homogêneas do que pastagens de poteiros distantes, em conseqüência da tendência usual da variabilidade das características do solo aumentar com a distância. Nessas circunstâncias, é conveniente efetuar o controle local dessas

características considerando a classificação dos poteiros em blocos constituídos de quatro poteiros contíguos, conforme o croqui da **Figura 6.7**.

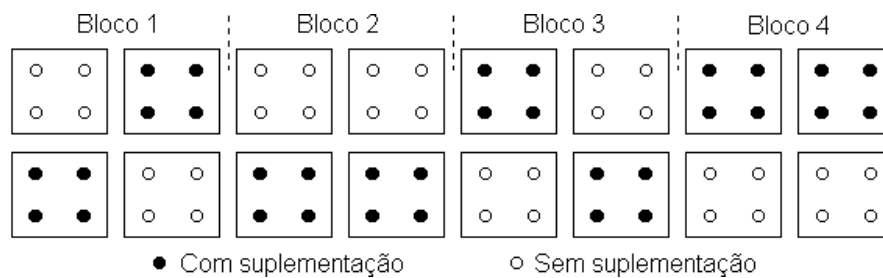


Figura 6.7. Croqui de delineamento com 2 tratamentos e 16 unidades experimentais classificadas em 4 blocos de 4 unidades para propósito de controle local, **Exemplo 6.5 a**).

Com o controle local efetuado por essa estrutura de unidades a variação entre os blocos devida a características estranhas é separada do erro experimental que afeta os efeitos dos tratamentos. Então, esse erro experimental é o erro experimental global subtraído da variação estranha entre blocos. Se essa variação estranha é maior do que o número de graus de liberdade que lhe corresponde, a precisão das inferências sobre efeitos dos tratamentos é incrementada em relação à precisão que seria lograda por estrutura sem controle local para o mesmo material experimental.

Esse delineamento experimental compreende duas repetições de cada tratamento por bloco. A heterogeneidade esperada das pastagens também poderia ser controlada pela formação de blocos de duas unidades experimentais, com uma repetição dos tratamentos por bloco. Entretanto, esse delineamento alternativo implicaria perda acentuada de número de graus de liberdade para a estimativa da variância do erro experimental que muito possivelmente não seria compensada pela fração do erro experimental separada para constituir o estrato do erro experimental correspondente a blocos.

b) Suponha-se que o experimento do **Exemplo 6.5** considere animais machos e fêmeas e que são utilizados 32 animais de cada sexo. Nessas circunstâncias, deve ser feito o controle local adicional para controle das características estranhas associadas com sexo e condicionamento da assinalação de cada um dos dois tratamentos a metade dos animais de cada um dos sexos. Oito animais de cada um dos sexos são alocados a dois dos quatro poteiros de cada um dos blocos e, então, os dois tratamentos são assinalados aos poteiros de cada bloco de modo que resulte cada tratamento em um poteiro com machos e um com fêmeas. Esse controle local duplo é ilustrado pelo croqui da **Figura 6.8**.

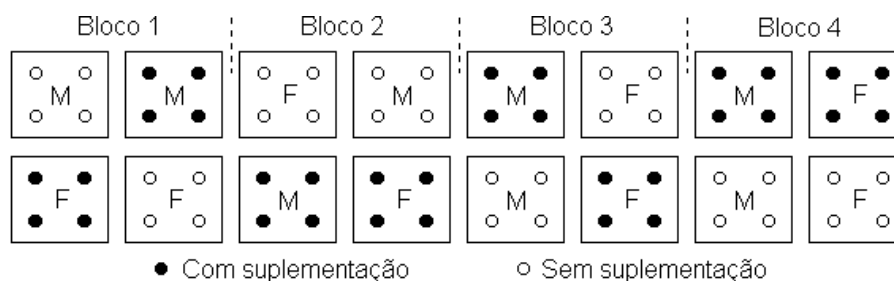


Figura 6.8. Croqui de delineamento com 2 tratamentos e 16 unidades experimentais classificadas em 4 blocos de 4 unidades para propósito de controle local, **Exemplo 6.5 b**).

Exemplo 6.6

Seja um experimento de nutrição de vacas leiteiras da raça Holandesa em que os tratamentos são cinco dietas diferentes. Suponha-se que são disponíveis 5 animais em mesma fase de lactação e que os efeitos de interesse dessas dietas são de curto prazo de modo que as 5

dietas podem ser administradas sobre cada um dos animais em 5 intervalos sucessivos de 3 semanas. Com esse procedimento, a unidade experimental é um animal em um intervalo de 3 semanas. As características estranhas relevantes são as características individuais dos 5 animais e as características do ambiente ao longo dos 5 intervalos. Nessas circunstâncias, pode ser esperado que seja logrado controle local eficiente pela classificação das 25 unidades experimentais segundo os níveis dessas duas características, ou seja, segundo os 5 animais e segundo os 5 intervalos de lactação, e a assinalação das dietas aos animais de modo que cada um dos animais receba todas as dietas e cada dieta apareça em cada um dos intervalos. Um croqui desse delineamento é apresentado na **Figura 6.9**.

		Vaca				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Intervalo	I ₁	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅
	I ₂	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₁
	I ₃	D ₃	D ₄	D ₅	D ₁	D ₂
	I ₄	D ₄	D ₅	D ₁	D ₂	D ₃
	I ₅	D ₅	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄

Figura 6.9. Croqui de delineamento com 5 tratamentos D₁, D₂, D₃, D₄ e D₅ e 25 unidades experimentais com controle local duplo em duas direções ortogonais, **Exemplo 6.6**.

Com essa estrutura de unidades o controle local implica separar do erro experimental que afeta os efeitos de tratamentos a variação devida às características estranhas entre os animais e entre os intervalos. Se essa variação estranha é maior do que o número de graus de liberdade que lhe corresponde, a precisão das inferências sobre efeitos dos tratamentos é incrementada em relação à precisão que seria lograda por estrutura sem controle local para o mesmo material experimental.

6.6.3 Casualização

A repetição provê a estimação da variância do erro experimental; o controle local permite a redução do erro experimental. Entretanto, esses dois princípios, não asseguram estimativas válidas da variância do erro experimental e das diferenças de efeitos de tratamentos.

Exemplo 6.7

Considere-se o experimento sobre a suplementação da dieta de bovinos machos para o qual foi formulado delineamento em blocos com duas repetições por bloco (**Exemplo 6.5 a**). Aquele delineamento satisfaz os princípios da repetição e do controle local. O controle local controla a variação das características estranhas referentes ao solo entre os blocos. Entretanto, outras fontes de variação estranha permanecem não controladas; em particular, os possíveis gradientes da fertilidade do solo ao longo dos blocos e transversalmente a essa direção. Suponha-se a assinalação dos tratamentos aos blocos resultou na distribuição indicada no croqui da **Figura 6.10**.

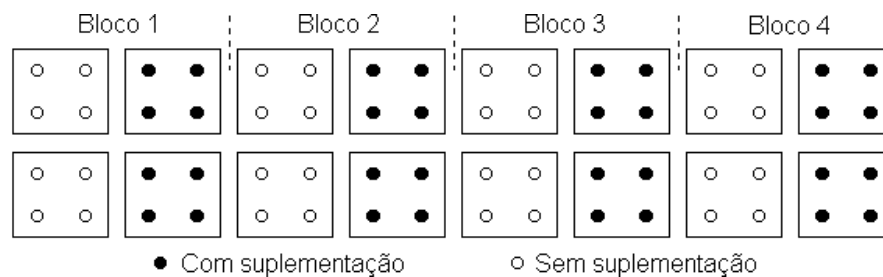


Figura 6.10. Croqui de delineamento com 2 tratamentos e 16 unidades experimentais classificadas em 4 blocos de 4 unidades para propósito de controle local, **Exemplo 6.5 a**).

O experimento sendo conduzido dessa forma, ou seja, com os dois tratamentos sistematicamente em poteiros nas mesmas posições dentro de cada bloco, a diferença dos pesos médios dos animais nos poteiros com dois tratamentos: com suplementação e sem suplementação será uma estimativa da diferença real dos tratamentos mais a diferença desconhecida atribuível à posição dos tratamentos dentro dos blocos. Inferências derivadas aplicar-se-ão não à diferença real entre com e sem suplementação, mas à diferença real mais a diferença desconhecida devida à posição dos tratamentos dentro dos blocos. Para ilustrar a dificuldade que esse delineamento pode implicar para inferências referentes ao efeito da suplementação, suponha-se que a pastagem nos poteiros à direita dos blocos seja favorecida por características do solo. Nestas circunstâncias, se o experimento revelar evidência de que o peso médio dos animais que recebem suplementação é inferior ao peso médio dos animais que não recebem suplementação, o pesquisador poderá ficar confiante da inexistência de uma diferença real em favor da suplementação, já que os animais que receberam suplementação foram beneficiados pela pastagem no curso do experimento. Entretanto, se for revelada evidência de que o peso médio dos animais com suplementação é mais elevado do que o dos animais sem suplementação, o pesquisador não saberá o que concluir.

A falha desse delineamento é a tendenciosidade que pode decorrer de gradiente de características do solo ao longo dos blocos. Suponha-se que, em vez de alocar os dois tratamentos sistematicamente a poteiros nas mesmas posições, o pesquisador determina a alocação dos dois tratamentos aos quatro poteiros de cada bloco através de sorteio efetuado de modo separado e independente para cada bloco. Dessa forma, em cada bloco os dois tratamentos têm a mesma chance de serem alocados a qualquer par dos quatro poteiros e, conseqüentemente, a mesma chance de serem mais ou menos favorecidos pela posição dentro do bloco.

Este exemplo ilustra uma tendência, ou viés, que pode ser antecipado por ocasião do planejamento do experimento. Em experimentos em que o pesquisador tem menos conhecimento da variabilidade do material experimental podem revelar-se tendências que não sejam esperadas em decorrência da distribuição dos tratamentos às unidades experimentais. Para evitar tendenciosidade dessa origem, o pesquisador necessita algum meio ou recurso para assegurar que tratamentos não sejam sistematicamente favorecidos ou prejudicados por alguma fonte de variação estranha, conhecida ou desconhecida. O recurso é a casualização. Naturalmente, o resultado de qualquer casualização específica pode favorecer ou prejudicar tratamentos. O fundamento do princípio da casualização é que ao longo de repetições de experimentos o confundimento dos efeitos de tratamentos com efeitos de características estranhas se torna igualmente influente para todos os tratamentos.

A casualização evita o confundimento tendencioso de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais e propicia estimativas não tendenciosas da variância do erro experimental que afeta esses efeitos. A casualização não tem qualquer efeito sobre a grandeza do erro experimental; particularmente, não contribui para a diminuição do erro experimental. Assim, na situação do experimento do **Exemplo 6.7**, se for esperado que o gradiente de características do solo ao longo dos blocos

possa ter efeito relevante sobre o peso médio dos animais, será recomendável controle local mais acentuado com a formação de blocos de apenas duas unidades experimentais.

A casualização é restrita pelo controle local. Em experimentos em que não é efetuado controle local a casualização é procedida sem qualquer restrição. Assim, no delineamento ilustrado no **Exemplo 6.3** b) a casualização deve ser efetuada por algum procedimento de sorteio que atribua a qualquer um dos dois tratamentos igual chance de ser alocado a qualquer subconjunto de 8 das 16 unidades experimentais. No delineamento com controle local considerado no **Exemplo 6.5** a), em que a casualização é restrita pela formação de blocos, a casualização deve ser procedida por sorteio que assegure a todos os tratamentos igual chance de ser alocado a qualquer das unidades experimentais, contanto que em cada um dos blocos resultem duas unidades com cada um dos tratamentos. Esse intento é logrado pela alocação dos tratamentos efetuada bloco por bloco através de sorteio que atribua a todos os tratamentos igual chance de ser assinalado a qualquer das unidades experimentais do bloco. Já no delineamento ilustrado no **Exemplo 6.6**, em que a casualização é restrita duplamente, pela formação de blocos em duas direções ortogonais: o processo de sorteio deve assegurar que uma coleção completa dos tratamentos resulte em cada um dos blocos de cada uma das duas direções ortogonais. O procedimento de casualização para esse delineamento não é tão óbvio como para os delineamentos sem controle local ou com controle local simples.

De modo geral, a casualização deve ser procedida por sorteio que assegure a propriedade de que todos os tratamentos tenham igual chance de assinalação a qualquer das unidades experimentais com a condição de que resulte uma configuração compatível com a relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades definida para o delineamento experimental. O procedimento de casualização deve assegurar a escolha de uma dessas configurações com aquela propriedade. A casualização para delineamentos particulares é usualmente facilitada por procedimentos práticos, como os ilustrados no parágrafo anterior.

A validade interna das inferências proporcionada pela casualização requer que o controle local seja apropriadamente levado em conta na estrutura do experimento. Caso contrário, o controle local pode implicar tendenciosidade da estimativa da variância do erro experimental. Para ilustração, considere-se novamente a situação do experimento do **Exemplo 6.7**. A alocação dos dois tratamentos a duas unidades experimentais de cada um dos blocos implica a eliminação da variação entre os blocos da variação dos valores da variável resposta, ou seja, do peso dos animais. O erro experimental que afeta inferências referentes a esses efeitos deve, igualmente, ser isento da variação atribuível a blocos. Portanto, esse erro experimental deve ser derivado de estrutura de experimento que leve apropriadamente em conta o controle da variação estranha entre os blocos que é efetuado pelo controle local.

As inter-relações das implicações desses três princípios básicos do delineamento experimental, ou seja, repetição, controle local e casualização para a estimativa do erro experimental são ilustradas no diagrama da **Figura 6.11**. A repetição provê a estimação do erro experimental. A repetição associada à casualização permite que a estimativa do erro experimental seja não tendenciosa; a repetição associada ao controle local proporciona redução dessa estimativa; o controle local e a casualização juntamente com a repetição provém estimativa do erro experimental reduzida e não tendenciosa.

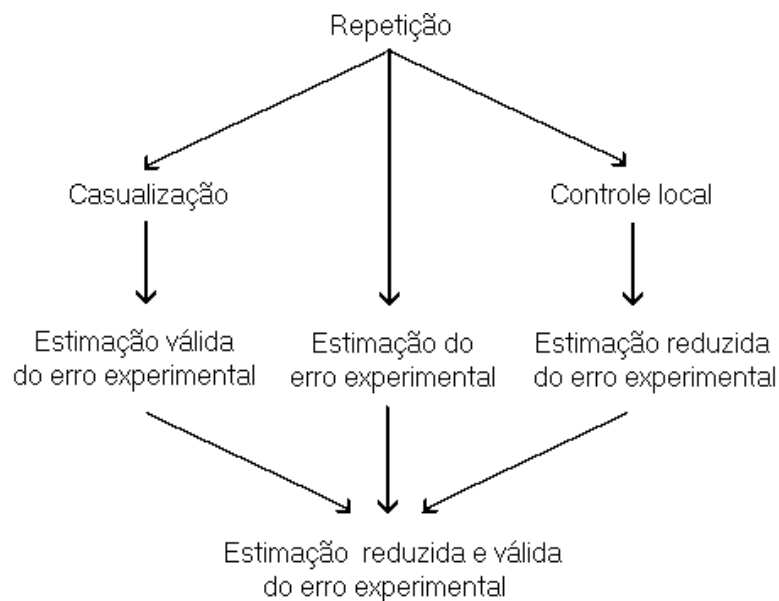


Figura 6.11. Diagrama que representa as implicações da repetição, do controle local e da casualização para a estimacão do erro experimental.

Outras propriedades complementares à repetição, casualização e controle local que também constituem princípios básicos importantes são consideradas a seguir.

Exercícios 6.3

1. O que significa a repetição no experimento? Exemplifique com um experimento de sua área.
2. Explique como a repetição pode contribuir para a precisão e a validade das inferências do experimento.
3. Considere um experimento com uma única formação de unidades experimentais e com mais de uma unidade de observação por unidade experimental. Explique porque a variação entre unidades de observação dentro de unidade experimental não é apropriada para prover uma estimativa do erro experimental para inferências referentes a efeitos de tratamentos.
4. Em experimentos de abrangência ampla as unidades de observação são usualmente classificadas segundo suas disposições no espaço e no tempo. Explique porque essas classificações devem ser consideradas para propósito de controle local.
5. Suponha que está sendo planejado um experimento para pesquisa da eficácia de uma droga para controle de anemia de cães. O experimento será conduzido com um conjunto de animais com sintoma de anemia. Como há expectativa da possibilidade do efeito da droga depender da origem da anemia esses animais são classificados com base nas três causas de anemia: perda de sangue, destruição ou diluição de glóbulos vermelhos e produção insuficiente de glóbulos vermelhos. Então, essa droga e um tratamento controle são atribuídos aleatoriamente aos animais de cada uma dessas três classes, separada e independentemente. O efeito da droga será mensurado pela contagem do número de glóbulos vermelhos no sangue após um intervalo de tempo de sua aplicacão.
 - a) Caracterize a unidade experimental.
 - b) Identifique a característica estranha considerada para controle local e que, portanto, constitui um fator de unidade.
 - c) Esse experimento poderá prover uma estimativa válida do erro experimental. Porque?
6. Identifique o número de repetições de cada um dos níveis dos fatores experimentais inseticida, local (município) e ano do experimento considerado no exercício 12 dos **Exercícios 5.3**.
7. Considere cada um dos experimentos utilizados como ilustracão nos exemplos da **Seção 5.9**.

- a) Identifique os números de repetições dos níveis de cada um dos fatores experimentais.
- b) Identifique os agregados de características estranhas considerados para controle local.
8. Considere cada uma das seguintes pressuposições alternativas para o experimento de que trata o exercício 5 no que diz respeito ao efeito da origem da anemia sobre o número de glóbulos vermelhos no sangue:
- a) a origem da anemia não afeta o número de glóbulos vermelhos no sangue;
- b) a origem da anemia afeta o número de glóbulos vermelhos no sangue, mas não o efeito da fonte de anemia sobre essa característica resposta;
- c) a origem da anemia afeta o efeito da fonte de anemia sobre o número de glóbulos vermelhos no sangue.
- Para cada uma dessas pressuposições alternativas indique se na definição do delineamento experimental a fonte de anemia deve ser: i) desconsiderada, ii) considerada como fator de unidade e iii) considerada como fator experimental. Justifique a resposta.
9. Qual é a consequência da casualização para a grandeza e a não tendenciosidade da estimativa da variância do erro experimental.
10. Explique as implicações do controle local para a casualização recorrendo a um exemplo de experimento de sua área.
11. Suponha que você está planejando um experimento com dois tratamentos e dispõe de vinte unidades experimentais consideradas homogêneas quanto às características estranhas.
- a) Quantas casualizações distintas são possíveis, se você deseja assinalar 10 unidades a cada um dos dois tratamentos?
- b) Quantas casualizações são possíveis se devem ser assinaladas 8 unidades a um dos tratamentos e 12 ao outro tratamento?
- c) Descreva um processo de casualização apropriado para esse experimento.
12. Suponha que as vinte unidades experimentais consideradas no exercício 11 sejam heterogêneas de modo a demandar controle local que as classifique em dez blocos de duas unidades.
- a) Explique como deve ser procedida a casualização nessas circunstâncias.
- b) Quantas configurações distintas da distribuição dos tratamentos nas vinte unidades experimentais podem resultar do procedimento de casualização?
13. Ilustre com um exemplo de experimento de sua área os usos da repetição, do controle local e da casualização. Explique as funções desses princípios básicos do delineamento do experimento nesse experimento particular.
14. Quais são as implicações desses três princípios básicos do delineamento do experimento no que se refere à estimação do erro experimental.

6.6.4 Ortogonalidade

Uma propriedade importante do delineamento de experimento é permitir a derivação de inferências referentes a cada efeito de fatores experimentais separada e independentemente dos efeitos dos outros fatores experimentais e dos fatores de unidade, ou seja, livre de confundimento com os efeitos desses fatores. Essa propriedade é garantida se o delineamento é ortogonal.

Um delineamento experimental é **ortogonal** se todos os pares de fatores (experimentais e de unidade) são ortogonais.

A condição necessária e suficiente para que dois fatores sejam **ortogonais** é que a proporção do número de unidades de observação para as combinações de níveis correspondentes a cada nível particular de um dos fatores seja constante para todos os níveis do outro fator.

Assim, dois fatores A e B cujos correspondentes níveis genéricos são denotados por a e b, respectivamente, são ortogonais se e somente se:

$$\frac{n_{ab}}{n_{a.}} = \frac{n_{.b}}{n_{..}}, \text{ ou seja, } n_{ab} = \frac{n_{a.} \cdot n_{.b}}{n_{..}}$$

para todas as combinações ab dos níveis dos dois fatores, onde $n_{a.}$, $n_{.b}$, e $n_{..}$ são, respectivamente, os números de observações dos níveis a e b e o número total de observações para todas as combinações dos níveis dos fatores A e B.

Exemplo 6.8

Suponha-se um experimento com um fator experimental A com 2 níveis A_1 e A_2 assinalados a 18 unidades experimentais agrupadas em 3 blocos conforme representado pelo croqui da **Figura 6.12**, onde B_1 , B_2 e B_3 são os níveis do fator de unidade bloco.

A_2	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2
A_1	A_1	A_2	A_2	A_2	A_1
A_2	A_2	A_2	A_1	A_2	A_2
B_1	B_2		B_3		

Figura 6.12. Croqui de um experimento com um fator experimental A com dois A_1 e A_2 em 3 blocos B_1 , B_2 e B_3 com repetições nos blocos.

Os números de repetições dos níveis do fator A em cada um dos 3 blocos são indicadas na **Tabela 6.5**.

Tabela 6.5. Números de repetições dos 2 níveis do fator experimental A nos 3 blocos do experimento do **Exemplo 6.8**.

A	Bloco			Total
	B_1	B_2	B_3	
A_1	1	2	3	6
A_2	2	4	6	12
Total	3	6	9	18

Para a combinação de níveis A_1B_1 tem-se: $n_{11}=1$, $n_{1.}=6$, $n_{.1}=3$; logo:

$$\frac{n_{1.} \cdot n_{.1}}{n_{..}} = \frac{6 \times 3}{18} = 1 = n_{11}$$

Pode-se verificar que a condição de ortogonalidade é satisfeita para todas as demais combinações de níveis. Portanto, o fator experimental A e o fator de unidade B são ortogonais, o que implica que o delineamento é ortogonal.

A condição de ortogonalidade é particularmente satisfeita se o delineamento contempla igual número de observações para todas as combinações dos níveis dos dois fatores; particularmente, se esse número comum de observações é igual a um.

Exemplo 6.9

Considere-se um experimento de campo para comparação de 8 cultivares de cevada A, B, C, D, E, F, G e H. Um terreno é dividido em 48 parcelas que são agrupadas em 6 blocos de 8 parcelas para controle local da heterogeneidade relevante das características do solo. Então, as 8 cultivares são atribuídas aleatoriamente às 8 parcelas de cada bloco de modo que uma coleção completa das 8 cultivares resulte em cada um dos 6 blocos. Nessas circunstâncias, como em cada bloco aparecem todas as cultivares, diferenças de cultivares não são afetadas por diferenças de blocos. Isso significa que os efeitos de tratamentos são ortogonais aos efeitos de blocos e que, portanto, o delineamento é ortogonal. Pode-se verificar que a condição estabelecida pela definição de ortogonalidade é satisfeita.

Suponha-se que a parcela com a cultivar E no bloco 4 tenha sido afetada por algum predador e para o controle dessa fonte de variação estranha perturbadora seja decidida a desconsideração dessa parcela. Como consequência, diferenças de tratamentos que envolvam a cultivar E ficam confundidas com diferenças de blocos. Então, os efeitos de tratamentos resultam não ortogonais aos efeitos de blocos, o que significa que o delineamento torna-se não ortogonal.

Exemplo 6.10

Considere-se o experimento de nutrição de vacas leiteiras ilustrado no **Exemplo 6.6**. O delineamento desse delineamento compreende um fator experimental de tratamento: dieta e dois fatores de unidade: vaca e intervalo. Esse delineamento associa uma repetição completa das 5 dietas a cada uma das 5 vacas e a cada um dos 5 intervalos; ademais, aloca uma repetição para cada uma das combinações das 5 vacas com os 5 intervalos. Logo, os três pares dos fatores dieta, vaca e intervalo são ortogonais. Portanto, o delineamento é ortogonal.

Pode-se verificar que, se for omitida no delineamento o último intervalo, os fatores dieta e intervalo ainda serão ortogonais, bem como os fatores intervalo e vaca; entretanto, os fatores dieta e vaca não serão ortogonais.

A ortogonalidade é uma propriedade altamente desejável por garantir ausência de confundimento de efeitos de fatores experimentais e permitir inferências independentes sobre esses efeitos. Entretanto, a não ortogonalidade não é um defeito grave de um delineamento, desde que possa ser obtido um ajustamento apropriado de cada efeito relevante de fatores experimentais para eliminar o confundimento com efeitos de outros fatores experimentais e de fatores de unidade.

Uma consequência da ortogonalidade é a simplicidade dos cálculos envolvidos nos procedimentos de análise estatística. Esse fato foi muito importante antes do advento da computação eletrônica. Atualmente, esse benefício da ortogonalidade está bastante reduzido. Conseqüentemente, diminuiu a conveniência do uso de delineamentos com blocos completos e tornou-se mais vantajosa a formação de blocos naturais mais apropriados para o controle da variação estranha cujos tamanhos muito freqüentemente não são exatamente iguais ao número de tratamentos.

Delineamentos não ortogonais podem resultar da desconsideração de unidades experimentais para contornar confundimento decorrente de características estranhas perturbadoras. A unidade experimental desconsiderada nessas circunstâncias é usualmente designada **unidade perdida**. Isso ocorre com certa freqüência em algumas áreas de pesquisa; por exemplo, em pesquisas com animais, em consequência de morte ou prejuízo a animais ocasionado por doença não atribuível a efeitos de tratamentos, e em pesquisas com plantas, quando ocorre prejuízo ou morte de plantas por efeitos não devidos a tratamentos.

6.6.5 Balanceamento

Delineamentos balanceados são apropriados para situações em que se torna inconveniente ou impossível o uso de delineamentos ortogonais. Por exemplo, pode ser impossível lograr controle local que classifique as unidades experimentais em grupos ou

blocos de unidades suficientemente homogêneas cada um dos quais compreenda uma coleção completa dos tratamentos. Essa situação é usual em experimentos com número elevado de tratamentos e pode ocorrer mesmo em experimentos com número de tratamentos relativamente pequeno quando o material experimental é acentuadamente heterogêneo quanto a características estranhas. Nessas circunstâncias, a formação de blocos que compreendam repetições completas dos tratamentos pode não lograr redução suficiente do erro experimental que afeta inferências relevantes. Então, pode ser conveniente recorrer à formação de blocos incompletos, ou seja, à formação de blocos menores que o número de tratamentos.

Com esses delineamentos de blocos incompletos, dado que unidades experimentais de um mesmo bloco são mais homogêneas do que unidades de blocos diferentes, diferenças de tratamentos em blocos distintos são mais afetadas por variação estranha do que diferenças de tratamentos em um mesmo bloco. Isso significa que essas diferenças são estimadas com precisões diferentes. Esse inconveniente pode ser evitado com a construção de delineamentos em que cada tratamento esteja presente com cada um dos outros tratamentos em um mesmo número de blocos. Dessa forma, logra-se o balanceamento dos efeitos de diferenças entre blocos sobre as comparações simples de tratamentos, o que garante precisão igual para as inferências referentes a todas as diferenças de dois tratamentos.

Esse conceito de balanceamento é expresso como segue:

Um delineamento é **balanceado** se provê igual precisão para todas as comparações simples de tratamentos, ou seja, para todas as comparações individuais de tratamentos.

O **Exemplo 6.11** ilustra o uso de delineamento com blocos incompletos balanceado para um experimento com um fator experimental.

Exemplo 6.11

Seja um experimento para pesquisa do efeito da temperatura sobre a germinação da semente de tomate com a consideração de quatro temperaturas: 20°C, 25°C, 30°C e 35°C e suponha que são disponíveis 3 câmaras de temperatura controlada. Nessas circunstâncias, essas câmaras terão que ser usadas repetidamente para constituir o número apropriado de repetições. Como a variação entre etapas de uso das câmaras é uma fonte de variação estranha relevante, cada etapa deve constituir um bloco de 3 unidades experimentais. Portanto, a cada bloco podem ser assinaladas apenas 3 das 4 temperaturas. A **Figura 6.13** apresenta o croqui de um delineamento com blocos incompletos balanceados com as quatro temperaturas: T_1 , T_2 , T_3 e T_4 em quatro blocos (etapas) de três unidades (câmaras), em que cada par de temperaturas aparece duas vezes em um mesmo bloco.

Bloco 1	T_1	T_2	T_3
Bloco 2	T_2	T_3	T_4
Bloco 3	T_3	T_4	T_1
Bloco 4	T_4	T_1	T_2

Figura 6.13. Delineamento com blocos incompletos balanceados para um experimento com 4 tratamentos (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) em 4 blocos de 3 unidades experimentais.

Blocos incompletos balanceados constituem a classe mais antiga de delineamentos não ortogonais. Um conceito mais amplo de balanceamento é estabelecido a seguir.

Sejam A e B dois fatores com A e B níveis, respectivamente, cujos correspondentes níveis genéricos são denotados por a e b. A relação entre esses dois fatores é **balanceada** em relação aos níveis do fator A se a soma das concorrências ponderadas de dois níveis do fator A for igual para todos os pares de níveis desse fator, ou seja, se:

$$p_{aa'} = \sum_{b=1}^B \frac{n_{ab}n_{a'b}}{n_{.b}}$$

para todo par de níveis aa' de A ($a, a' = 1, 2, \dots, A, a \neq a'$), onde n_{ab} e $n_{.b}$ são, respectivamente, o número de observações da combinação de níveis ab e o número total de observações para o nível b do fator B.

Demonstra-se que, se todos os $p_{aa'}$ são iguais, então todas as comparações simples de níveis do fator A são igualmente precisas. Isso significa que a propriedade referente ao conceito mais restrito de balanceamento para a situação de blocos incompletos é preservada.

A condição de balanceamento em relação aos níveis do fator B é dada por expressão análoga com o intercâmbio dos símbolos referentes aos dois fatores, ou seja:

$$p_{bb'} = \sum_{a=1}^A \frac{n_{ab}n_{a'b'}}{n_{.a}} \text{ para todo par } bb' \text{ de níveis de B } (b, b' = 1, 2, \dots, B, b \neq b').$$

Observe-se que, contrariamente à propriedade da ortogonalidade, o balanceamento não é uma propriedade recíproca, ou seja, o balanceamento em relação aos níveis de um dos fatores não implica o balanceamento em relação aos níveis do outro fator. Assim, se for requerida a opção para o balanceamento em relação aos níveis de um dos fatores, o pesquisador terá de optar. Se um dos fatores for um fator de unidade a opção será obviamente pelo fator experimental. Entretanto, se ambos forem fatores experimentais, então o balanceamento deverá ser buscado para o fator mais importante, se não forem ambos igualmente importantes, ou para ambos os fatores. Planejar a disposição dos níveis de um fator nos níveis do outro fator é de grande importância nas situações em que não estão presentes no delineamento todas as combinações dos níveis dos dois fatores.

Exemplo 6.12

Considere-se um experimento com um fator experimental A com 3 níveis A_1, A_2 e A_3 em três blocos cujo delineamento é representado no croqui da **Figura 6.14**.

A ₂	A ₁	A ₁	A ₂	A ₂
A ₁	A ₃	A ₃	A ₁	A ₃
B ₁		B ₂		B ₃

Figura 6.14. Croqui do experimento com três tratamentos dispostos em 3 blocos, **Exemplo 6.12**.

As concorrências dos pares de tratamentos nos blocos são dadas na **Tabela 6.6**.

Tabela 6.6. Concorrências dos pares de tratamentos nos blocos, **Exemplo 6.12.**

Tratamento	Bloco			Soma
	B ₁	B ₂	B ₃	
A ₁	2	2	0	4
A ₂	1	1	1	3
A ₃	1	1	1	3
Soma	4	4	2	10

As somas das concorrências ponderadas dos três pares dos níveis do fator A são:

$$p_{A_1A_2} = \frac{2 \times 1}{4} + \frac{2 \times 1}{4} + \frac{0 \times 1}{2} = 1,$$

$$p_{A_1A_3} = \frac{2 \times 1}{4} + \frac{2 \times 1}{4} + \frac{0 \times 1}{2} = 1,$$

$$p_{A_2A_3} = \frac{1 \times 1}{4} + \frac{1 \times 1}{4} + \frac{1 \times 1}{2} = 1.$$

Como as somas das concorrências ponderadas são iguais para os três pares de níveis do fator A, então a relação entre os fatores A e B é balanceada com respeito aos níveis do fator A.

Pode-se verificar que as variâncias das comparações simples dos efeitos dos níveis A₁, A₂ e A₃ são todas iguais a $2\sigma^2/3$.

Também se pode observar que as somas das concorrências ponderadas dos pares de blocos são:

$$p_{12} = \frac{2 \times 2}{4} + \frac{1 \times 1}{3} + \frac{1 \times 1}{3} = \frac{5}{3},$$

$$p_{13} = \frac{2 \times 0}{4} + \frac{1 \times 1}{3} + \frac{1 \times 1}{3} = \frac{2}{3} \text{ e}$$

$$p_{23} = \frac{2 \times 0}{4} + \frac{1 \times 1}{3} + \frac{1 \times 1}{3} = \frac{2}{3}.$$

Logo, não há balanceamento em relação os níveis do fator bloco, o que é irrelevante, pois não há interesse em inferências referentes a efeitos de fator de unidade.

A condição de balanceamento da relação de dois fatores A e B com respeito aos níveis do fator A é satisfeita particularmente se todos os níveis deste fator se combinam um mesmo número de vezes com cada um dos níveis do fator B.

Exemplo 6.13

Considere-se um experimento com um fator experimental A com 3 níveis A₁, A₂ e A₃ com 2 repetições de cada um desses níveis em cada um de três blocos cujo delineamento é representado no croqui da **Figura 6.15**.

A ₂	A ₃	A ₁
A ₁	A ₂	A ₃

B₁

A ₁	A ₂	A ₂
A ₃	A ₁	A ₃

B₂

A ₂	A ₃	A ₂
A ₁	A ₁	A ₃

B₃

Figura 6.15. Croqui do experimento com três tratamentos A₁, A₂ e A₃ dispostos em 3 blocos com duas repetições de cada tratamento por bloco, **Exemplo 6.13.**

As concorrências dos tratamentos nos blocos são dadas na **Tabela 6.7.**

Tabela 6.7. Concorrências dos pares de tratamentos A₁, A₂ e A₃ nos blocos B₁, B₂ e B₃, **Exemplo 6.13.**

Tratamento	Bloco			Soma
	B ₁	B ₂	B ₃	
A ₁	2	2	2	6
A ₂	2	2	2	6
A ₃	2	2	2	6
Soma	6	6	6	18

As somas das concorrências ponderadas dos três pares dos tratamentos A₁, A₂ e A₃ são:

$$p_{A_1A_2} = \frac{2 \times 2}{6} + \frac{2 \times 2}{6} + \frac{2 \times 2}{6} = 2,$$

$$p_{A_1A_3} = \frac{2 \times 2}{6} + \frac{2 \times 2}{6} + \frac{2 \times 2}{6} = 2,$$

$$p_{A_2A_3} = \frac{2 \times 2}{6} + \frac{2 \times 2}{6} + \frac{2 \times 2}{6} = 2.$$

Logo, a condição de balanceamento em relação aos níveis do fator A é satisfeita.

Também se pode observar que as somas das concorrências ponderadas são iguais para todos os pares de blocos. Isso significa que o fator de unidade bloco também é balanceado em relação aos tratamentos.

Em particular, se o delineamento contempla uma repetição para cada uma das combinações dos níveis de dois fatores, esses fatores são mutuamente balanceados.

Em experimentos em que comparações particulares de tratamentos são importantes o delineamento deve alocar precisão elevada para essas comparações. Nessas circunstâncias a propriedade do balanceamento não é conveniente. Esse pode ser o caso, por exemplo, de experimentos com plantas de controle de pragas, doenças e invasoras, e de experimentos com animais de controle de doenças e parasitos. Se o objetivo é a identificação de produtos eficazes, são de interesse as comparações simples que envolvem um tratamento controle sem a presença de inseticida, fungicida, herbicida, antibiótico ou anti-helmíntico, respectivamente. Essas comparações particulares são efetuadas com precisão mais elevada quando é alocado número de repetições para o controle maior do que para os demais tratamentos.

O princípio do balanceamento se aplica a delineamentos com três ou mais fatores, mesmo na ausência de controle local. O delineamento de um experimento nessas circunstâncias é balanceado se o número de observações é o mesmo para todos os níveis de cada um dos fatores e para combinação de níveis de dois fatores, de três fatores, etc.

Delineamentos de dois ou mais fatores não balanceados podem resultar da perda de unidades decorrente da desconsideração de unidades experimentais afetadas por características estranhas perturbadoras.

Em geral, a ortogonalidade de um delineamento não implica seu balanceamento, assim como também o balanceamento não implica a ortogonalidade. Para ilustração, pode-se verificar que o delineamento do experimento do **Exemplo 6.8** que ilustra a ortogonalidade de dois fatores não é balanceado em relação aos níveis do fator B. Por outro lado, também se pode verificar que o delineamento considerado no **Exemplo 6.12** que é balanceado em relação aos níveis do fator A não é ortogonal. De modo geral, os delineamentos em blocos incompletos balanceados não são ortogonais. Há implicação recíproca de balanceamento e ortogonalidade de dois fatores se esses fatores são balanceados em relação aos níveis de cada um deles; essa situação ocorre apenas se todas as combinações dos níveis desses fatores têm o mesmo número de repetições (**Exemplo 6.13**).

6.6.6 Confundimento

O confundimento de características é uma circunstância comum em qualquer pesquisa, particularmente na pesquisa experimental. Uma preocupação constante do pesquisador é lograr inferências referentes a efeitos de fatores experimentais livres de confundimento com características estranhas relevantes. Os princípios do controle local e da casualização têm como propósitos reduzir esse confundimento e evitar tendenciosidade que possa decorrer para as inferências derivadas do experimento.

Em alguns experimentos, entretanto, o confundimento de efeitos de fatores experimentais com fatores de unidade pode ser inevitável e tornar-se um recurso para lograr maior precisão para inferências referentes a efeitos de fatores experimentais mais relevantes ao custo do sacrifício de informações sobre efeitos menos importantes. Assim, por exemplo, em experimentos com dois ou mais fatores experimentais com número elevado de combinações de níveis pode ser conveniente sacrificar inferências referentes a efeitos de interações de ordens mais elevadas, quando julgadas irrelevantes, adotando delineamentos com blocos incompletos. Efeitos dessas interações são confundidos com efeitos de blocos incompletos de dimensões apropriadas, em benefício de maior precisão para inferências referentes aos efeitos principais e interações mais relevantes que se processam dentro desses blocos, supostamente mais homogêneos do que os blocos completos de delineamento alternativo.

Um grande número de delineamentos experimentais decorre desse princípio de confundimento, como, por exemplo, os delineamentos com dois ou mais fatores experimentais em blocos incompletos, e os delineamentos com parcelas divididas e com blocos divididos em faixa. Esses delineamentos distinguem-se segundo os efeitos confundidos e o correspondente nível de confundimento.

Exemplo 6.14

Para ilustração de confundimento de efeitos de interação considere-se um experimento com três fatores experimentais A, B e C cada um com dois níveis, com três repetições de cada uma das oito combinações de níveis. Suponha-se que restrições do material experimental somente permitem a formação de blocos 4 parcelas e que o pesquisador está disposto a sacrificar as inferências referentes à interação $A \times B \times C$ dos três fatores.

Para facilidade de compreensão, adota-se a notação que simboliza um dos níveis do fator pela forma minúscula da letra que denota o fator e o outro nível pela ausência dessa letra. Uma combinação de níveis é denotada pela justaposição das notações dos níveis presentes na combinação. Assim, por exemplo, ab denota a combinação de níveis em que os níveis escolhidos dos fatores A e B estão presentes e o nível escolhido do fator C está ausente. A combinação em que os níveis escolhidos dos três fatores estão ausentes é denotada por (1).

O confundimento da interação $A \times B \times C$ é logrado pela alocação das 8 combinações dos níveis dos fatores A, B e C conforme indicado no croqui da **Figura 6.16**.

Repetição:	1		2		3	
Bloco:	1	2	3	4	5	6
	a	(1)	a	(1)	a	(1)
	b	ab	b	ab	b	ab
	c	ac	c	ac	c	ac
	abc	bc	abc	bc	abc	bc

Figura 6.16. Croqui (antes da casualização) de um delineamento com três fatores experimentais A, B e C com 3 repetições cada uma constituída de dois blocos de 4 unidades experimentais com confundimento do efeito da interação $A \times B \times C$ com efeitos de blocos.

O **Exemplo 6.14** ilustra confundimento da interação dos três fatores A, B e C em todas as três repetições. Nessas circunstâncias o efeito da interação $A \times B \times C$ é completamente confundido. Em algumas situações pode ser conveniente obter informação parcial sobre um efeito de interação confundindo-o com efeitos de blocos em apenas algumas das repetições. Nesse caso, nas outras repetições são confundidos efeitos de outras interações. O **Exemplo 6.15** provê uma ilustração de confundimento parcial.

Exemplo 6.15

Para ilustrar confundimento parcial, suponha que o pesquisador prefere obter informação parcial referente à interação $A \times B \times C$ confundindo-a apenas em uma das três repetições, seja a primeira, a custo do confundimento parcial das interações de dois fatores $A \times B$ e $A \times C$ respectivamente nas repetições 2 e 3. Então, o croqui apropriado (antes da casualização) é o apresentado na **Figura 6.17**.

Repetição:	1		2		3	
Bloco:	1	2	3	4	5	6
	a	bc	(1)	a	(1)	a
	b	ac	c	b	b	c
	c	ab	ab	ac	ac	ab
	abc	(1)	abc	bc	abc	bc
Interações confundidas:	$A \times B \times C$		$A \times B$		$A \times C$	

Figura 6.17. Croqui (antes da casualização) de um experimento com três fatores experimentais A, B e C com 3 repetições cada uma constituída de dois blocos de 4 unidades experimentais com confundimento parcial das interações $A \times B \times C$, $A \times B$ e $A \times C$.

O procedimento geral para a geração de delineamento com confundimento de efeitos de fatores experimentais é tema do **Capítulo 10**.

O **Exemplo 6.14** e o **Exemplo 6.15** ilustram confundimento de interações, que constitui a situação mais usual em que o confundimento é conveniente. Em algumas

circunstâncias particulares, o confundimento do efeito principal de um fator experimental pode ser justificado por considerações de ordem prática e por atribuir maior precisão para inferências referentes ao fator experimental mais importante. O **Exemplo 6.16** apresenta uma ilustração.

Exemplo 6.16

Suponha-se que está sendo planejado um experimento para pesquisa do efeito da cobertura de lavoura de alface sobre a produção e que há expectativa de que o efeito da cobertura possa depender da cultivar. Então, é decidido considerar dois fatores experimentais: data de retirada da cobertura e cultivar, e são escolhidos 12 tratamentos correspondentes às 12 combinações de 4 datas de retirada da cobertura e 3 cultivares. Dada a conveniência de utilizar o menor número de coberturas possível e o fato de que cultivar pode ser alocada a unidades de pequenas dimensões, por conveniência de ordem prática, é decidido adotar duas formações de unidades experimentais: unidades de maior dimensão para o fator cobertura e subdivisões dessas unidades para o fator cultivar. É definida a adoção de quatro repetições e a formação de quatro blocos para o controle da heterogeneidade de características do solo. O croqui correspondente a este delineamento, antes da casualização, é mostrado na **Figura 6.18**.

Bloco 1						Bloco 2					
A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂
A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₃ B ₃	A ₃ B ₄	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₃ B ₃	A ₃ B ₄
Bloco 3						Bloco 4					
A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂
A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₃ B ₃	A ₃ B ₄	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₃ B ₃	A ₃ B ₄

Figura 6.18. Croqui (antes da casualização) de um delineamento com dois fatores experimentais A e B e formação de quatro blocos para controle local; os níveis do fator A são alocados a unidades divididas em 4 subunidades e os níveis do fator B são assinalados a essas subunidades.

Observe-se que com este delineamento os níveis do fator A são alocados a divisões do bloco, ou seja, a sub-blocos constituídos de 4 unidades experimentais elementares e os níveis do fator B são alocados a essas unidades experimentais de modo que cada sub-bloco compreende uma coleção completa dos níveis do fator A. Dessa forma, os efeitos do fator A ficam confundidos com efeitos de sub-blocos. Como, ademais, o número de repetições dos níveis do fator B é maior do que o número de repetições dos níveis do fator A, a precisão das inferências referentes ao efeito principal do fator B e ao efeito da interação dos dois fatores é usualmente maior do que a precisão das inferências sobre o efeito principal do fator A. Assim, dado que os efeitos referentes ao fator B, ou seja, data de retirada da cobertura constituem o objeto das inferências desse experimento e o fator A é de menor importância, esse delineamento é conveniente para o presente experimento.

6.6.7 Eficiência

Os princípios considerados anteriormente são propriedades de delineamentos experimentais individuais. A eficiência é uma propriedade referente à precisão de um delineamento comparativamente a outros delineamentos para as mesmas circunstâncias de material experimental.

Um delineamento é mais **eficiente** do que outro delineamento se a quantidade de informação que ele provê é maior do que a provida por este delineamento alternativo.

Assim, a eficiência é uma propriedade referente à precisão que um delineamento pode propiciar relativamente a outros delineamentos alternativos. Essa é uma propriedade altamente importante que deve ser levada em conta na escolha entre delineamentos alternativos apropriados para uma mesma situação experimental.

Em experimentos com um único estrato do erro experimental a precisão ou quantidade de informação é expressa por $1/\sigma^2$, onde σ^2 é a variância do erro experimental por unidade (**Seção 6.5.3**). Nessas circunstâncias, a eficiência relativa de um delineamento D_1 em relação a um delineamento alternativo D_2 para inferências referentes a diferenças de duas médias de tratamentos é expressa pelo quociente das correspondentes quantidades de informação fornecidas por esses delineamentos, ou seja:

$$\frac{1/\sigma_1^2}{1/\sigma_2^2} = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2},$$

onde σ_1^2 e σ_2^2 são as variâncias populacionais dos erros experimentais para os delineamentos D_1 e D_2 . Como, em geral, essas variâncias são desconhecidas, deve-se recorrer às suas estimativas providas por experimentos. Então, a eficiência relativa do delineamento D_1 em relação ao delineamento D_2 é dada por:

$$ER = \frac{(v_1 + 1)/(v_1 + 3)s_1^2}{(v_2 + 1)/(v_2 + 3)s_2^2} = \frac{(v_1 + 1)(v_2 + 3)s_2^2}{(v_2 + 1)(v_1 + 3)s_1^2},$$

onde s_1^2 e s_2^2 são as estimativas das variâncias dos erros dos delineamentos D_1 e D_2 , respectivamente, e v_1 e v_2 são os graus de liberdade correspondentes a essas estimativas.

O ajustamento da eficiência relativa quando as variâncias populacionais são substituídas pelas respectivas estimativas providas por experimentos é importante apenas se os graus de liberdade dessas estimativas são pequenos.

Essa expressão da eficiência relativa aplica-se a dois experimentos com o mesmo conjunto de tratamentos. Ela também pode ser empregada para avaliar a eficiência relativa da estimação de um efeito de tratamentos em dois experimentos e, mais genericamente, para determinar a eficiência relativa de estimativas de um efeito de fatores experimentais particular providas por dois experimentos. Nesses casos, s_1^2 e s_2^2 tornam-se as estimativas das variâncias desse efeito de tratamentos ou de fatores experimentais providas pelos dois experimentos e σ_1^2 e σ_2^2 , seus respectivos números de graus de liberdade.

A consideração da eficiência relativa é importante em muitas situações; por exemplo: a) para a decisão entre delineamentos alternativos no planejamento de experimentos com base em resultados de experimentos anteriores, e b) para verificar a conveniência de ter sido adotado um delineamento particular em um experimento já realizado em relação a um delineamento alternativo mais simples. Esse segundo uso é importante no caso de experimentos que são repetidos ao longo do tempo, como experimentos de melhoramento genético de plantas. Por exemplo, se um delineamento com blocos incompletos não se revela mais eficiente do que um delineamento com blocos completos, não há porque continuar utilizando aquele delineamento nos próximos anos. Uma ilustração interessante da primeira situação é dada no **Exemplo 6.17**.

Exemplo 6.17

Suponha-se que esteja sendo planejado um experimento para pesquisa do efeito de hormônio de crescimento em ratos com os seguintes tratamentos: 1 - sem hormônio, 2 - hormônio A, 3 - hormônio B e 4 - hormônio C. A unidade experimental será constituída por um animal

individual e o experimento deve ser conduzido com 40 ratos machos provenientes de 10 ninhadas, sendo 4 animais de cada ninhada. Considere-se um delineamento D_1 em que os 40 animais são atribuídos aleatoriamente, 10 a cada um dos 4 tratamentos, sem qualquer restrição. Esse delineamento permite a todos os quatro tratamentos igual chance de ser alocado a qualquer subconjunto de 10 dos 40 ratos. Suponha-se um delineamento alternativo D_2 que leva em conta a origem dos ratos de modo que os quatro tratamentos são alocados aleatoriamente aos quatro animais de cada uma das dez ninhadas, o que implica que cada subconjunto de quatro ratos de uma mesma ninhada recebe uma coleção completa dos quatro tratamentos.

O delineamento D_1 permite aos quatro tratamentos igual chance de ser alocado a qualquer subconjunto de 10 dos 40 ratos, enquanto no delineamento D_2 todos os quatro tratamentos têm igual chance de ser alocado a qualquer dos ratos de cada uma das ninhadas. Em ambos os delineamentos D_1 e D_2 os procedimentos de casualização determinam relações aleatórias entre os tratamentos e os animais, de modo que diferenças entre tratamentos resultam associadas com efeitos aleatórios das características dos animais. No delineamento D_1 os tratamentos são comparados sem consideração para a ninhada; no delineamento D_2 as comparações entre tratamentos são procedidas entre animais de uma mesma ninhada. É sabido que a variação de características respostas, como peso corporal, por exemplo, entre membros de uma mesma ninhada é menor do que entre animais de ninhadas diferentes. Assim, pode ser esperado que o delineamento D_2 produza médias de tratamentos menos variáveis do que as médias correspondentes providas pelo delineamento D_1 . De fato, em experimentos de nutrição com algumas espécies de ninhadas numerosas tem sido observado que estimativas de variâncias de diferenças de médias de tratamentos estimadas de indivíduos de mesma ninhada chega a ser cerca da metade das obtidas quando os animais não são agrupados segundo ninhadas. Isso significa que o uso do delineamento D_2 requereria apenas a metade dos animais para lograr o mesmo grau de variação que o delineamento D_1 . Assim, a adoção do delineamento D_2 em lugar do delineamento D_1 reduziria o custo do experimento à metade, ou, alternativamente, para uma dada quantidade de experimento, ele diminuiria a variação entre médias de tratamentos à metade.

A **Figura 6.19** estende a ilustração **Figura 6.11** das relações entre os princípios básicos do delineamento do experimento. O controle local provém menores estimativas da variância do erro experimental quando é associado à ortogonalidade. O confundimento em blocos incompletos pode propiciar delineamentos mais eficientes do que delineamentos com blocos completos, dependendo da variação estranha do material experimental e da formação de blocos. O controle local, associado ou não à ortogonalidade, proporciona delineamentos alternativos um dos quais é usualmente mais eficiente



Figura 6.19. Inter-relações entre seis princípios do delineamento de experimento.

Exercícios 6.4

1. Explique o significado de relação ortogonal entre dois fatores recorrendo a um exemplo de experimento de sua área. Qual é a importância desse princípio do delineamento do experimento?
2. Verifique que a propriedade da ortogonalidade é satisfeita pelo primeiro delineamento considerado no **Exemplo 6.9** e que, entretanto, o delineamento que resulta da perda da parcela com a cultivar E no bloco 4 não é ortogonal.
3. Em que circunstâncias o pesquisador tem que recorrer a delineamento com blocos incompletos? Ilustre com um exemplo de experimento de sua área. Nessas circunstâncias, qual é o princípio do delineamento que é importante assegurar?
4. Explique a distinção entre relação de dois fatores ortogonal e balanceada. Porque o balanceamento é uma propriedade do delineamento que é importante assegurar, caso a ortogonalidade seja inconveniente para as circunstâncias do experimento?
5. Em um delineamento com blocos incompletos para 6 tratamentos (A, B, C, D e E) em 6 blocos de 3 parcelas a distribuição dos tratamentos nos blocos será procedida como segue:

Bloco:	1	(A, B, C)
	2	(A, B, D)
	3	(A, E, F)

Bloco:	4	(B, E, F)
	5	(C, D, E)
	6	(C, D, F)

Verifique se este delineamento é balanceado.

6. Dê um exemplo de experimento com um único fator experimental com quatro tratamentos em que seria apropriada a adoção de delineamento com blocos incompletos balanceados com três unidades experimentais por bloco. Mostre um croqui da distribuição dos tratamentos nas unidades experimentais.
7. Explique o significado do princípio do confundimento no delineamento de experimento. Ilustre com um experimento de sua área uma situação em que o uso do confundimento poderia ser apropriado.
8. Mostre que o delineamento considerado no **Exemplo 6.13**, que é balanceado em relação aos níveis de cada um dos dois fatores A e B, é ortogonal e que, entretanto, o delineamento ilustrado no **Exemplo 6.12**, que é balanceado com respeito aos níveis do fator A, mas não em relação aos níveis do fator B, não é ortogonal.
9. Verifique que o delineamento do experimento do **Exemplo 6.8** que ilustra a ortogonalidade de dois fatores não é balanceado em relação aos níveis do fator B.
10. Suponha o plano de um experimento para pesquisa da eficácia de três antibióticos para o controle de mastite bovina, com 4 tratamentos: 1 - Tetraciclina, 2 - Gentamicina, 3 - Ampicilina e 4 - Sem antibiótico. Trinta animais são classificados em 5 grupos de 6 animais de idades próximas e a cada um dos grupos os tratamentos 1, 2 e 3 são assinalados aleatoriamente a 3 das 6 unidades e o tratamento 4 às 3 unidades restantes.
 - a) Verifique se esse delineamento é balanceado.
 - b) Verifique se ele é ortogonal.
11. Considere o seguinte croqui de um experimento para comparação de quatro tratamentos dispostos em quatro blocos:

Bloco 1:	A	B	C	D
Bloco 2:	A	B	C	
Bloco 3:	A	B	D	
Bloco 4:	A	C	D	

- a) Verifique se esse delineamento é balanceado.

- b) Verifique se ele é ortogonal.
12. Explique como se distinguem os usos do delineamento com blocos incompletos nas situações de um único fator experimental e de dois ou mais fatores experimentais quanto aos efeitos confundidos com blocos. Quais propriedades referentes às inferências busca-se preservar em cada uma dessas duas circunstâncias.
13. Dê um exemplo de experimento de sua área com dois ou mais fatores experimentais em que seria conveniente o uso de delineamento com blocos incompletos e a adoção do princípio do confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de blocos.
14. Na primeira coluna da tabela que segue estão enumeradas ações e procedimentos que o pesquisador pode adotar no plano de experimento. Na segunda coluna são listadas conseqüências desejáveis e indesejáveis referentes ao erro experimental e à precisão e à validade do experimento. Associe a segunda coluna à primeira, preenchendo nos parênteses em branco os números apropriados indicados entre parênteses na primeira coluna.

Ações e procedimentos adotados no planejamento de experimento.	Conseqüências
(1) Repetição em uma mesma posição no espaço e no tempo	() Estimção do erro experimental
(2) Repetição em diferentes posições no espaço e no tempo	() Redução da estimativa do erro experimental
(3) Casualização	() Redução do viés intrínseco
(4) Controle local	() Redução do viés extrínseco
(5) Controle estatístico	() Aumento do viés extrínseco
(6) Controle de técnicas experimentais	() Validade da estimativa do erro experimental
(7) Balanceamento	() Redução do confundimento de efeitos de fatores experimentais e de características estranhas
(8) Confundimento	() Redução da chance de que características estranhas potencialmente perturbadoras se tornem perturbadoras
	() Aumento da precisão de inferências referentes a efeitos importantes de fatores experimentais a custo do sacrifício da precisão para efeitos menos importantes

Exercícios de Revisão

1. Explique porque a escolha do delineamento experimental no passado era restrita a alguns poucos delineamentos que se tornaram tradicionais. Porque hoje em dia não há razão para o pesquisador condicionar o plano de seu experimento a um desses delineamentos?
2. Explique as razões da dependência recíproca entre o planejamento da estrutura das condições experimentais e o planejamento da estrutura das unidades.
3. Porque efeitos de fatores experimentais manifestam-se confundidos com efeitos de características estranhas? Quais são as implicações desse confundimento para as inferências originadas do experimento?
4. O que se entende por "erro experimental"? Ilustre com exemplo de um experimento de sua área.

5. O que significa "erro sistemático"? Como ele pode ser originar em um experimento?
6. Porque o erro experimental é usualmente designado "erro aleatório" ou "erro casual"?
7. Liste e explique, abreviadamente, os requisitos importantes do plano do experimento.
8. Explique o significado de precisão do experimento. Porque a precisão depende da grandeza do erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais e não da grandeza do erro experimental global?
9. Que ações o pesquisador pode utilizar para o aumento da precisão do experimento?
10. Como o número de repetições pode afetar a precisão das inferências derivadas da amostra?
11. Explique o significado de validade do experimento. Distinga validade interna e validade externa.
12. Quais são as relações da validade interna e da validade externa com o viés intrínseco e o viés extrínseco?
13. Descreva resumidamente as ações que o pesquisador pode tomar para o aumento da validade interna do experimento.
14. Explique as ações relevantes para o aumento da validade externa do experimento.
15. Que implicações o controle de técnicas experimentais pode ter para a validade interna do experimento? E para a validade externa?
16. Como o registro de dados de características estranhas relevantes pode contribuir para o aumento da precisão e a validade interna do experimento?
17. Como a escolha dos fatores experimentais e dos níveis desses fatores pode afetar a validade interna e a validade externa do experimento?
18. Em que circunstâncias a consideração de fatores experimentais adicionais pode propiciar o aumento da validade externa?
19. Porque experimentos tecnológicos podem requerer amostra de abrangência espacial e temporal ampla?
20. Explique porque a precisão pode ser avaliada objetivamente, enquanto as avaliações da validade interna e da validade externa somente podem ser feitas subjetivamente? Porque essa subjetividade usualmente é mais elevada para a validade externa?
21. Explique porque a precisão do experimento não pode ser absoluta.
22. Porque a validade do experimento não pode ser absoluta?
23. Identifique para um dos experimentos usados como ilustração nos exercícios 3 e 4 dos **Exercícios 6.1** as operações próprias ou necessárias para o funcionamento das unidades. Que implicações essas operações podem ter para a precisão, a validade interna e a validade externa do experimento.
24. Explique a importância de tratamento controle, testemunha ou placebo para a detecção de efeitos reais de tratamentos em um experimento.
25. Em que circunstâncias o controle estatístico pode ser útil para favorecer a validade interna do experimento.
26. Explique abreviadamente os seguintes princípios básicos do delineamento do experimento: repetição, casualização e controle local. Qual desses princípios básicos é atribuído a Ronald A. Fisher?
27. Quais são as implicações desses três princípios básicos do delineamento do experimento para a precisão, a validade interna e a validade externa.
28. Explique e ilustre a diferença entre repetição e observação múltipla.
29. O que significa "repetição escondida" em um experimento fatorial?
30. Como a repetição pode contribuir para a validade externa de experimentos tecnológicos?
31. Explique como o controle local pode contribuir para diminuir o confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas relevantes do material experimental.
32. Suponha que um pesquisador planeja conduzir um experimento para pesquisa do efeito do melhoramento da pastagem sobre o ganho de peso de ovinos em pastoreio no período de

março a agosto, com dois tratamentos: 1 - pastagem melhorada e 2 - pastagem nativa. O plano do experimento prevê o uso de 60 animais machos da raça Corriedale e dois poteiros, cada um com capacidade para 30 animais. Um dos poteiros é de campo natural (pastagem nativa) e o outro de pastagem melhorada. Os 60 animais serão distribuídos 30 a cada um dos dois poteiros. Suponha que os 60 cordeiros são razoavelmente uniformes, de modo que o controle de características individuais dos animais seja julgado desnecessário.

- a) Caracterize a unidade experimental.
 - b) A variação entre animais dentro de poteiro poderá prover uma estimativa válida do erro experimental para a comparação dos dois tratamentos? Justifique sua resposta
 - c) Esse experimento poderá prover uma estimativa válida do erro experimental para essa comparação? Porque?
 - d) Indique uma alteração do plano do experimento que poderia propiciar a estimação válida do erro experimental para a comparação de interesse.
33. Explique a relação entre o princípio do controle local e o delineamento do experimento?
 34. Em que consiste a casualização na pesquisa experimental? Porque se deve adotar uma disposição de tratamentos aleatória, em vez de uma disposição sistemática que pode ser aparentemente desejável para um experimento?
 35. Como a casualização contribui para a validade do experimento?
 36. Suponha que um pesquisador está planejando um experimento para pesquisa do efeito do tamanho da semente de soja sobre a velocidade de germinação. Esse experimento será conduzido em caixas em casa de vegetação com cinco repetições de cada um de quatro tamanhos de semente. As características do ambiente são suficientemente homogêneas o que torna o controle local dispensável. Assim, os quatro tratamentos serão assinalados aleatoriamente aos vinte vasos sem qualquer restrição. Quantas diferentes configurações de distribuição dos tratamentos nos vasos poderão resultar?
 37. Dê um exemplo de experimento de sua área com um único fator experimental em que seria apropriada a adoção de delineamento com blocos completos. Mostre um croqui da distribuição dos tratamentos nas unidades experimentais. Explique porque esse delineamento é ortogonal.
 38. Quais dos procedimentos de controle experimental têm implicações para o delineamento do experimento? Explique porque o controle de técnicas experimentais e o controle estatístico não têm implicações para o delineamento do experimento.
 39. Indique nas colunas 2 e 3 da tabela que segue as conseqüências que o pesquisador usualmente espera resultarem, respectivamente quanto à precisão e ao viés da estimativa do erro experimental, de cada uma das ações ou ocorrências listadas na primeira coluna da tabela, entre as seguintes: 1 - aumento, 2 - diminuição, 3 - nenhuma, 4 - outra (indique neste caso).

Ações e ocorrências no experimento	Conseqüências para:	
	Precisão	Viés
Controle local		
Controle estatístico		
Controle de técnicas experimentais		
Casualização		
Ocorrência de características estranhas perturbadoras		
Uso de delineamento experimental inadequado		
Aumento do tamanho do experimento		

40. Explique porque o delineamento experimental exemplificado no exercício 37 é ortogonal. Verifique que esse delineamento também é balanceado em relação aos tratamentos.
41. Porque, em geral, é mais fácil lograr um delineamento ortogonal ou balanceado para um experimento do que para um estudo observacional?

42. Explique a relação dos princípios da ortogonalidade e do balanceamento do delineamento experimental com o confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas.
43. Ilustre o conceito de confundimento através de situações práticas de seu campo de especialidade. Dê exemplos de confundimento inevitável, confundimento não intencional, confundimento controlado e confundimento intencional.
44. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
- O delineamento do experimento compreende a definição das e as especificações da estrutura, da estrutura e da relação entre essas duas estruturas.
 - Efeitos de fatores experimentais compreendem: de cada um dos fatores, que é o efeito de um fator global para os níveis dos demais fatores; de cada um dos fatores, que é o efeito de um fator para cada nível particular de outro fator ou para cada combinação particular dos níveis de outros fatores;, que é a variação dos efeitos de um fator entre os níveis de outro fator.
 - O erro que afeta um efeito de fatores experimentais compreende necessariamente o efeito das características estranhas que com ele estão confundidas, que é um componente do A estimação desses erros requer, ou seja, que níveis e combinações de níveis de fatores experimentais esteja presentes em mais de uma unidade experimental.
 - Em experimentos em que o erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais provém de um único estrato o erro que afeta esses efeitos é mensurado pela , que é denotada por σ^2 . Fisher define o inverso dessa medida, ou seja, $1/\sigma^2$, como a ou
 - A precisão do experimento pode ser aumentada pelos seguintes procedimentos de controle experimental:, e O procedimento de controle experimental que não afeta a precisão é O procedimento mais eficaz para lograr precisão elevada é ; entretanto, sua aplicação é limitada por suas implicações para a representação da população objetivo.
 - Um experimento é se as inferências sobre efeitos de da amostra para a são não tendenciosas. A validade é afetada por viés de duas origens: que se origina de confundimento tendencioso de efeitos de fatores experimentais com efeitos de características estranhas e que provém de falhas da representação da pela O viés da primeira origem afeta a validade ; o da segunda origem, a Procedimentos de controle experimental afetam apenas a validade interna, ambas validade interna e validade externa ou não afetam a validade. afeta as validades interna e externa; afeta apenas a validade interna; não afetam a validade.
 - Alguns requisitos do plano do experimento requerem algumas propriedades importantes do delineamento do experimento que são usualmente denominadas Duas dessas propriedades são procedimentos de controle experimental: e e são dois desses procedimentos de controle experimental que não estão relacionados com propriedades do delineamento do experimento.
 - Unidades experimentais com um mesmo tratamento ou condição experimental constituem para esse tratamento ou condição experimental. ou é a unidade de informação sobre o

- i) A repetição, o controle local e a casualização têm implicações para a estimação do erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais: permite a estimação, permite a redução da estimativa provida pela repetição e permite que essa estimativa seja
- j) e são propriedades básicas do delineamento do experimento relacionadas com o confundimento de efeitos. significa ausência de confundimento de efeitos de fatores experimentais; sua importância é permitir inferências separada e independentemente para cada um dos efeitos de fatores experimentais. significa distribuição uniforme dos efeitos de características estranhas sobre efeitos de fatores experimentais; permite, por exemplo, igual precisão para comparações simples de tratamentos. consiste no confundimento planejado de efeitos de fatores experimentais menos relevante com efeitos de características estranhas em benefício de precisão mais elevada para as inferências referentes aos efeitos mais relevantes.
- k) é uma propriedade do delineamento do experimento comparativamente a delineamentos alternativos. Frequentemente mais de um delineamento experimental pode satisfazer propriedades requeridas do plano do experimento e do delineamento experimental. Entretanto, usualmente, um desses delineamentos alternativo provê a precisão mais elevada. Esse delineamento deve ser o escolhido, ressalvadas as condicionantes de ordem prática.
45. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () O delineamento experimental compreende as escolhas das variáveis respostas, das condições experimentais e do controle experimental.
 - 2 () Usualmente, inferências de um experimento podem ser derivadas utilizando estimativas da variância do erro experimental de pesquisas anteriores.
 - 3 () A precisão do experimento refere-se à variabilidade estranha do material experimental que não é controlada.
 - 4 () O erro experimental compreende apenas a variação estranha casualizada.
 - 5 () O erro experimental pode, sempre, ser diminuído em um experimento.
 - 6 () O desvio padrão de uma diferença de médias de dois tratamentos expressa a grandeza dos erros aleatórios que contribuem para a estimativa da diferença entre as médias reais desses tratamentos.
 - 7 () O pesquisador pode obter a precisão que deseja para o seu experimento através da redução da variação estranha que afeta os efeitos de fatores experimentais.
 - 8 () A utilização de material experimental homogêneo é um recurso para lograr precisão elevada em qualquer experimento.
 - 9 () Em alguns experimentos o material experimental deve ser naturalmente heterogêneo, embora isso possa ser inconveniente para a precisão do experimento.
 - 10 () A utilização de técnicas experimentais sempre contribui para o aumento da precisão e validade do experimento.
 - 11 () A utilização de material experimental homogêneo propicia maior precisão do experimento, mas prejudica a validade.
 - 12 () O aumento do número de repetições é um recurso para lograr tanto a maior precisão como a maior validade do experimento.
 - 13 () O delineamento experimental tem implicações relevantes para a precisão e a validade do experimento.
 - 14 () O pesquisador pode lograr precisão e validade absolutas das inferências originadas do experimento.
 - 15 () Os requisitos de precisão e validade são igualmente importantes em qualquer experimento.

- 16 () Em experimentos tecnológicos usualmente a precisão e a validade são igualmente importantes.
- 17 () Em alguns experimentos, a precisão pode ser aumentada através da utilização de procedimentos de análise estatística apropriados.
- 18 () O viés do experimento é a proximidade entre a população amostrada e a população objetivo.
- 19 () Não há como evitar o viés intrínseco de um experimento.
- 20 () O pesquisador pode lograr a manifestação de efeitos reais de tratamentos utilizando o controle de técnicas experimentais apropriado.
- 21 () O propósito do uso de repetições é, entre outros, permitir a estimação não tendenciosa do erro experimental.
- 22 () O pesquisador deve adaptar seu experimento aos delineamentos experimentais usualmente apresentados em textos.
- 23 () O pesquisador deve desenvolver o delineamento para a situação particular de seu experimento, contanto que leve apropriadamente em conta os princípios básicos do delineamento do experimento.
- 24 () Frações distintas do material experimental com um mesmo tratamento constituem repetições desse tratamento.
- 25 () O aumento do número de repetição pode ser logrado pela adoção de observações múltiplas nas unidades experimentais.
- 26 () Em alguns experimentos o pesquisado pode admitir não adotar repetição.
- 27 () Em um experimento com animais em que o tratamento é aplicado ao potreiro a variação entre animais dentro de potreiro provê uma estimativa adequada da variância do erro experimental.
- 28 () A repetição afeta a precisão do experimento, mas pode não ter qualquer efeito sobre a validade.
- 29 () A repetição pode ser importante para o aumento da validade do experimento.
- 30 () A repetição sempre contribui para a diminuição da estimativa da variância do erro experimental e, portanto, para o aumento da precisão do experimento.
- 31 () O controle local pode ser desnecessário em experimentos em ambientes controlados.
- 32 () O controle local e o controle estatístico são dois procedimentos alternativos ou complementares para a redução do erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais.
- 33 () O controle local é usualmente utilizado para o controle de características estranhas individuais.
- 34 () O controle estatístico é usualmente adotado para o controle de características estranhas individuais.
- 35 () A casualização é o processo de assinalar os tratamentos às unidades experimentais com o propósito de controlar o viés interno.
- 36 () O pesquisador não tem como evitar o viés do experimento.
- 37 () A casualização pode ser adotada exclusivamente na atribuição dos tratamentos às parcelas.
- 38 () A casualização pode lograr o controle de todas as características estranhas não controladas por outro procedimento de controle experimental.
- 39 () O balanceamento é um procedimento que pode ser utilizado para evitar o confundimento de efeitos de tratamentos com diferenças entre blocos em delineamentos com blocos incompletos.
- 40 () O confundimento de condições experimentais com características estranhas é sempre inconveniente no experimento.
- 41 () O confundimento pode ser um recurso para lograr o aumento da precisão de inferências relevantes em um experimento.

- 42 () O uso de metodologia estatística apropriada no plano e na análise dos resultados de um experimento permite ao pesquisador atribuir um grau de confiabilidade às inferências derivadas do experimento.
- 43 () As pressuposições dos métodos estatísticos empregados na análise dos resultados de um experimento são relevantes para a validade das inferências derivadas.
- 44 () Qualquer experimento mal planejado pode ser salvo pelo emprego de uma metodologia estatística suficientemente sofisticada.
- 45 () Através da metodologia de análise estatística apropriada, o experimentador pode obter a prova absoluta da eficácia dos tratamentos em um experimento.

Conceitos e Termos Chave

- Delineamento do experimento
- Efeito principal
- Interação de efeitos de dois fatores
- Erro experimental
- Precisão / quantidade de informação
- Erro padrão
- Amostra inicial
- Tratamento controle / testemunha
- Viés intrínseco
- Validade interna
- Validade do experimento
- Efeito real de tratamento
- Intervalo de confiança
- Potência de teste
- Erro tipo 2
- Princípios básicos do delineamento do experimento
- Observação múltipla
- Casualização
- Balanceamento
- Eficiência relativa
- Efeito de fatores experimentais
- Efeito simples
- Requisitos do plano do experimento
- Erro que afeta um efeito de fatores experimentais
- Variância do erro experimental
- Desvio padrão
- Característica estranha veiculada com tratamento
- Validade
- Viés extrínseco
- Validade externa
- Simplicidade do experimento
- Estimacão
- Teste de hipótese
- Erro tipo 1
- Teste de significância
- Repetição
- Controle local
- Ortogonalidade
- Confundimento

Bibliografia

- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.

- FEDERER, W. T. **Statistics and society, data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- FINNEY, D. J. **An introduction to statistical science in agriculture**. 4.ed. Copenhagen: Scandinavian University Books, 1972. 290p.
- FISHER, R. A. The arrangement of field experiments. **Journal of the Ministry of Agriculture of Great Britain**, v.33, p.503-513, 1926.
- FISHER, R. A. **The design of experiments**. 8. ed. New York: Hafner, 1966. 248p.
- KEMPTHORNE, O. Why randomise? **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.1, p.1-25, 1977.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. Huntington, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979. 631 p.
- KEMPTHORNE, O. Sampling inference, experimental inference and observation inference. **Sankhya**, 40, Serie B, Parts 3 and 4, p.115-145, 1979.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. v.1, 495p.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- MEAD, R. **The design of experiments: Statistical principles for practical application**. Cambridge: Cambridge University, 1988. 620p.
- MITCHELL, M.; JOLLEY, J. **Research design explained**. 3. ed. Fort Worth, Texas: Harcourt Brace, 1996. 624p.
- PEARCE, S. C. **The agricultural field experiment: A statistical examination of theory and practice**. Chichester: John Wiley, 1983. 335p.
- SELWYN, M. R. **Principles of experimental design for the life sciences**. Boca Raton, Florida: CRC, 1996. 160p.
- SHADISH, W. R.; COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. **Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference**. Boston: Houghton Mifflin, 2002. 623p.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**, versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, 1996. 427p.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

7 Planejamento da Resposta

Conteúdo

7.1	Introdução.....	274
7.2	Escolha das Características Respostas.....	275
7.3	Variável e Escala de Medida.....	279
	Escala nominal.....	280
	Escala ordinal.....	282
	Escala intervalar.....	282
	Escala racional.....	283
	Outras classificações e designações de variável.....	284
	Escolha da escala de medida.....	285
7.4	Processo de Mensuração.....	287
	Mensuração subjetiva.....	287
	Qualidade do processo de mensuração.....	289
	Instante da mensuração.....	289
7.5	Erro de Medida.....	290
	Erro humano.....	291
	Erro instrumental.....	291
7.6	Propriedades de um Processo de Mensuração.....	293
7.6.1	Precisão e exatidão de um processo de mensuração.....	293
7.6.2	Outras propriedades.....	297
7.7	Estrutura da Variável Resposta.....	298
	Exercícios de Revisão.....	300
	Conceitos e Termos Chave.....	304
	Bibliografia.....	305

7.1 Introdução

O planejamento da resposta compreende a seleção das características respostas, a escolha de variáveis para representá-las, a previsão dos processos de mensuração das características respostas e o estabelecimento da relação dessas características.

Geralmente, o desempenho das unidades da população objetivo de um experimento é expresso por um conjunto de características muito numeroso. Entretanto, apenas um subconjunto dessas características respostas é de interesse para consideração no experimento. As características respostas desse subconjunto têm vários níveis de interesse, segundo o relacionamento com os objetivos do experimento. Em geral, uma ou poucas características respostas têm relação direta com esses objetivos e são de importância primordial; a maioria delas pode ser de interesse secundário, por proverem informação sobre a origem dos efeitos causais das condições experimentais ou sobre o grau de evidência desses efeitos.

As duas questões principais que devem ser considerados no planejamento da resposta para um experimento são: quais características devem ser mensuradas e como mensurá-las. Esses temas foram introduzidos na **Seção 2.3.1**. Em muitas situações, a escolha das características respostas é fácil e os métodos de mensuração são bem estabelecidos, confiáveis e rotineiros. Em outras, esses métodos não estão tão bem estabelecidos, ou são disponíveis vários procedimentos alternativos para mensuração de uma mesma característica, um dos quais deve ser escolhido. Por exemplo, a eficiência de um produto farmacêutico particular pode ser avaliada simplesmente pelo registro de uma característica resposta de dois níveis em cada paciente: melhorou e não melhorou, ou pela mensuração de alguma característica através de um exame de laboratório. Em algumas situações, devem ser usados instrumentos e procedimentos de mensuração elaborados e sofisticados. Avaliações relativamente simples de contagens, frequências e ordens podem ser bastante satisfatórias nos estágios iniciais de experimentação, ou quando é esperado que as diferenças de efeitos dos tratamentos sejam relativamente elevadas. Entretanto, se devem ser detectadas diferenças pequenas e os riscos de erros de mensuração são grandes, podem ser necessárias medidas mais acuradas, que podem demandar a expressão da resposta por uma variável contínua. O processo de mensuração deve ser determinado apropriadamente para cada situação de modo que não seja demasiadamente elaborado nem demasiadamente simplista.

A escolha é do pesquisador, que deve levar em conta a qualidade da mensuração requerida para cada pesquisa particular, tendo em consideração o presente estágio de desenvolvimento das pesquisas na área e os recursos disponíveis. Algumas vezes, ele deve estabelecer um compromisso entre o número de características respostas que deveriam ser consideradas tendo em conta os objetivos do experimento e o número de características respostas que podem ser mensuradas com a qualidade requerida para a confiabilidade do experimento, em decorrência da limitação imposta pelos recursos disponíveis.

Este Capítulo aborda os aspectos mais relevantes do planejamento da resposta. Assim, a **Seção 7.2** expõe o processo de escolha das características respostas. Na **Seção 7.3** trata-se da representação numérica de uma característica, ou seja, da escolha da variável para representar uma característica, particularmente da escala de medida. A **Seção 7.4** aborda os vários aspectos referentes ao processo de mensuração. A **Seção 7.5** discute os erros de medida que podem resultar desse processo. As duas propriedades básicas do processo de mensuração, ou seja, precisão e exatidão, são o tema da **Seção 7.6**. Este Capítulo encerra com a **Seção 7.7** que trata da estrutura da variável resposta.

7.2 Escolha das Características Respostas

Em muitos experimentos, várias características respostas podem ser de interesse e devem ser mensuradas. Usualmente, essas características não têm igual relevância: algumas são de importância crucial para a consecução dos objetivos do experimento e, no outro extremo, algumas são de menor interesse e a decisão sobre sua mensuração pode depender da disponibilidade de recursos.

A escolha das características respostas depende da relevância para os objetivos estabelecidos para o experimento e das possibilidades e recursos disponíveis para mensuração. Assim, é recomendável que o processo de escolha inicie com a elaboração de uma lista das características que expressem o desempenho das unidades da população objetivo. Então, segue-se a ordenação dessas características, segundo o grau de relacionamento com os objetivos do experimento. De acordo com esse relacionamento, as características respostas podem ser classificadas nas duas seguintes categorias:

- característica resposta principal ou primária e
- característica resposta secundária ou subsidiária.

As características respostas principais (ou características respostas primárias) são as características respostas diretamente relacionadas aos objetivos do experimento. As características respostas secundárias (ou características respostas subsidiárias) são as características respostas não relacionadas diretamente aos objetivos do experimento.

As características respostas primárias são usualmente características referentes à função das unidades da população objetivo (**Seção 2.2**) e características que exprimem o efeito causal relevante objeto das inferências do experimento. Em experimentos tecnológicos, geralmente as características respostas primárias referem-se à função das unidades; em experimentos básicos, mais comumente são características que exprimem o efeito causal relevante. Essas características são definidas, explicita ou implicitamente, pelo problema científico. Os exemplos que seguem ilustram essas duas classes de características respostas.

Exemplo 7.1

a) Em um experimento de comparação de cultivares de trigo, em que a função importante das lavouras e objeto de inferência é a produção de grãos, a característica resposta primária é o peso da produção de grãos. São características respostas secundárias, por terem importância para a explicação do efeito causal da cultivar sobre a produção de grãos, características relacionadas à planta: número de perfilhos, número de espigas, número de espiguetas por espiga e número de grãos por espiga. Também são características respostas secundárias, por essa mesma razão e por expressarem propriedades importantes referentes à qualidade do grão: peso do grão e densidade do grão.

b) Em um experimento para pesquisa da suplementação de sal mineral e cálcio sobre o desenvolvimento corporal de cordeiros do desmame ao abate para a produção de carne de cordeiro mamão, a característica resposta primária é o peso corporal ao abate. São características respostas secundárias os pesos corporais a cada 15 dias deste período, que são importantes para a expressão do desenvolvimento corporal, e características relevantes da carcaça, como peso de quarto e peso de paleta.

Exemplo 7.2

Considere-se um experimento sobre o controle do míldio de videira da cultivar Itália.

a) Se o objetivo do experimento é tecnológico, as características respostas primárias são as propriedades relevantes referentes à função dos sistemas, ou seja, produção de uva de mesa.

Essas características são: peso da produção de cachos e peso médio do cacho. O número de cachos é uma característica resposta secundária, por sua necessidade para a determinação do peso médio do cacho. Também é característica resposta secundária o grau de infecção do míldio, pela sua importância para explicação do efeito causal do fungicida sobre a produção de cachos.

b) Se o experimento tem objetivo básico o efeito causal relevante objeto de inferência é o controle do míldio. Então, o grau de infecção do míldio deve ser considerado uma característica resposta primária. Nesse caso, o peso da produção de cachos, o número de cachos e o peso médio do cacho são características respostas secundárias.

A separação das características respostas em primárias e secundárias é tênue e estreitamente dependente da avaliação do pesquisador de suas importâncias relativas para a expressão do desempenho das unidades tendo em vista os objetivos específicos do experimento. Uma ilustração é apresentada no **Exemplo 7.3** que considera diversos objetivos alternativos de um experimento dependentes das funções relevantes das unidades da população objetivo.

Exemplo 7.3

Considere-se um experimento para pesquisa do efeito da poda do pessegueiro sobre a produção de frutos.

a) Se a função das unidades é a produção de pêssego de mesa, as características respostas relevantes referem-se à quantidade e à aparência do fruto. Então, são características respostas primárias o peso da produção de frutos e o peso médio do fruto. O número de frutos é uma característica resposta secundária, principalmente pela sua necessidade para a determinação do peso médio do fruto. Também são características respostas secundárias propriedades referentes à qualidade do fruto, tais como teor de acidez, teor de açúcar, cor e sabor.

b) Se a função das unidades é a produção de frutos para industrialização como compota, a classificação das características respostas identificadas no exemplo a) permanece apropriada. Entretanto, agora, poderão ser características respostas secundárias propriedades referentes à qualidade da compota, tal como sabor.

c) Se a função é a produção de frutos para industrialização como pessegada, o peso da produção de frutos é a única característica resposta primária; o número de frutos é uma característica resposta secundária, pela sua importância para determinar se o efeito causal do tipo de poda sobre o peso da produção decorre do aumento do tamanho do fruto ou do número de frutos. Nesse caso, o peso médio do fruto é uma característica resposta irrelevante.

As características respostas primárias devem ser necessariamente escolhidas para consideração no experimento. Características respostas secundárias podem ser importantes para proverem informação sobre a origem ou natureza de efeitos causais atribuíveis a fatores experimentais, ou sobre o grau de evidência desses efeitos, ou para expressarem alguma propriedade relevante relacionada ao desempenho das unidades.

As características respostas primárias devem ser objeto das inferências a serem derivadas do experimento, ou seja, os valores observados dessas características devem ser submetidos à análise estatística. Características respostas secundárias usualmente são submetidas apenas a um resumo descritivo para determinação de estatísticas tais como médias e frequências.

Características respostas secundárias podem ter importância própria no experimento, por constituírem propriedades importantes referentes ao desempenho das unidades, ou serem importantes para a explicação da origem dos efeitos de fatores experimentais sobre características respostas primárias ou para a avaliação do quanto desses efeitos é atribuível à ação direta desses fatores.

Uma característica resposta que explica a origem dos efeitos de fatores experimentais sobre características respostas primárias e o quanto desses efeitos é atribuível à ação direta desses fatores é denominada **característica resposta intermediária**.

Exemplo 7.4

a) Em um experimento de comparação de cultivares de aspargo, em que o peso da produção é a característica resposta primária, o número de turões é uma característica resposta intermediária;

b) em um experimento do efeito do manejo da ovelha matriz sobre a produção de carne de cordeiro mamão, o peso da produção de carne por ovelha é a característica resposta primária e o número de cordeiros, uma característica resposta intermediária;

c) no experimento de comparação de cultivares de trigo do **Exemplo 7.1** são características respostas intermediárias: número de perfilhos, número de espigas, número de espiguetas por espiga e número de grãos por espiga.

Características respostas podem ser mensuradas diretamente ou indiretamente. Quanto a essa propriedade, essas características classificam-se nas duas seguintes categorias:

- característica resposta original, simples, crua ou pura, e
- característica resposta derivada ou composta.

Características respostas mensuradas diretamente são denominadas **características respostas originais (características respostas simples, cruas ou puras)**; as demais características respostas não denominadas **características derivadas (ou características compostas)**. Estas são derivadas como relações de características respostas originais e de características estranhas,

Algumas ilustrações de características respostas originais e características respostas derivadas são apresentadas no **Exemplo 7.5** e no **Exemplo 7.6**.

Exemplo 7.5

Ilustrações de características respostas originais:

a) peso da produção de grãos, número de perfilhos, número de espigas, número de espiguetas, peso hectolitro, em um experimento com plantas graníferas;

b) peso dos frutos e o número de frutos produzidos, em um experimento com plantas frutíferas;

c) peso corporal ao abate, tempo para o abate, peso de carcaça fria, comprimento de carcaça, peso do alimento consumido, em um experimento de nutrição animal;

c) altura final da planta, em um experimento do efeito da fertilização do solo sobre o desenvolvimento do pessegueiro.

Exemplo 7.6

Ilustrações de características respostas derivadas providas pelos mesmos experimentos considerados no **Exemplo 7.5**:

a) experimento com plantas graníferas: número de espiguetas por espiga – razão entre número de espiguetas e número de espigas;

b) experimento com plantas frutíferas: peso médio do fruto - razão entre peso dos frutos e número de frutos produzidos;

c) experimento de nutrição animal: ganho de peso - diferença entre peso final e peso inicial; ganho médio diário de peso - razão entre ganho de peso e número de dias entre as determinações

dos pesos inicial e final; e conversão alimentar - razão entre peso do alimento consumido e ganho de peso do animal;

d) experimento de fertilização do solo para cultivo de pessegueiro: crescimento da planta – diferença entre altura final e altura inicial da planta.

Características derivadas, tais como taxas, razões, percentagens e concentrações, são importantes em muitos experimentos. Observe-se, entretanto, que características derivadas, como essas, são geralmente menos confiáveis e mais enganosas do que as características simples que as originam.

Em algumas circunstâncias, uma característica resposta é mensurada através de outra característica, por inviabilidade ou inconveniência de mensuração direta:

Uma característica que é usada para exprimir uma característica resposta indiretamente é designada **característica resposta substituta**.

Exemplo 7.7

Os seguintes são exemplos de característica resposta substituta:

a) vigor da semente determinado através do "teste de envelhecimento precoce", em um experimento de armazenamento de sementes de cornichão;

b) vigor da planta determinado pelo diâmetro do tronco a 1,5m de altura, em um experimento de fertilização do solo de pomar de pessegueiro; e

c) grau de infecção de um animal determinado pela temperatura corporal, em um experimento de controle de uma doença infecciosa de cães.

Uma característica é considerada como substituta apenas na ausência de uma relação teórica ou empírica que converta a medida determinada para essa característica em uma medida da característica resposta de interesse e, mais particularmente, se não há uma correlação exata entre as duas características. Esse princípio de medir uma característica através de uma outra altamente correlacionada com ela é o fundamento de muitos métodos de mensuração.

A mensuração de uma característica resposta pode demandar a execução de algum processo elaborado, tal como uma avaliação sob condições especiais, uma análise de laboratório e um procedimento de análise estatística. O **Exemplo 7.8** apresenta ilustrações particulares.

Exemplo 7.8

a) Em um experimento de campo com cultivares e fungicidas, o poder germinativo da semente é determinado através de um teste em câmara de germinação; o vigor pode ser determinado através do plantio da semente em condições de campo;

b) em um experimento com beterraba açucareira, a produção de açúcar é derivada da produção de raiz e do conteúdo de açúcar na raiz, que é determinado por análise química;

c) em um experimento de campo com videira vinífera, características referentes à qualidade do vinho são determinadas em laboratório, através de microvinificação, ou seja, um processo de vinificação em pequena escala que simula o processo industrial;

d) em um experimento do efeito de hormônios de crescimento sobre o desenvolvimento corporal de suínos, a taxa de crescimento, o peso assintótico e a eficiência da conversão de alimento em peso vivo são determinados a partir do peso vivo mensurado em vários instantes do período experimental, através de procedimentos estatísticos não triviais.

Observe-se que uma característica resposta importante em muitas situações pode ser irrelevante ou não pertinente em situações particulares. Assim, por exemplo, o peso

corporal ao abate é uma característica resposta usualmente importante em experimentos de produção animal; entretanto, não é relevante em um experimento de nutrição de suínos quando os animais são abatidos ao atingirem um peso de abate fixo, pré-determinado (90 kg, por exemplo). Neste caso, a característica resposta relevante é o ganho médio diário de peso que é uma característica derivada do peso inicial, do peso ao abate (nesse caso constante) e do tempo para o abate.

A segunda questão envolvida no planejamento da resposta é como mensurar as características respostas. Trata-se da "ordenação" das alternativas, presumivelmente já naturalmente classificadas, de cada uma das características respostas. Essa questão foi introduzida na **Seção 2.3.1** e é novamente tratada a seguir.

7.3 Variável e Escala de Medida

Em termos gerais, a mensuração de uma característica ou propriedade de uma unidade é a representação dessa característica através de números que apresentem entre eles as mesmas relações relevantes dos níveis da característica que representam. Assim, medir uma característica significa assinalar números às unidades como um meio de representar essa característica.

Assim, a mensuração de uma característica demanda o estabelecimento de uma correspondência entre os níveis da característica e os valores de um conjunto de números que levem em conta as relações entre esses níveis e as operações que podem ser efetuadas sobre eles. Correspondência completa raramente pode ser obtida; usualmente, obtém-se uma correspondência parcial. A regra de correspondência estabelecida para representação de uma característica determina a representação dessa característica através de uma função numérica (ou seja, uma função de valores numéricos) definida no conjunto dos níveis da característica.

A função numérica que estabelece uma correspondência entre os níveis de uma característica e os valores de um conjunto de números é denominada **variável**.

Uma variável deve expressar apropriadamente a característica que ela representa.

Uma variável é uma **variável válida** se ela é relevante ou apropriada para representação da característica que expressa, ou seja, se ela expressa apropriadamente a propriedade correspondente a essa característica.

A passagem aparentemente simples de uma propriedade das unidades para uma variável que a represente pode ser enganosa. Uma variável deve ser definida clara e exatamente. Para que seja obtida a definição de uma variável que satisfaça a essas condições a característica não pode ser vaga, inexata ou não observável diretamente. Algumas ilustrações são apresentadas no **Exemplo 7.9**.

Exemplo 7.9

a) O peso médio do fruto é uma variável válida para expressar o tamanho dos frutos produzidos por uma planta frutífera;

b) a razão entre o ganho médio de peso dos animais no boxe e o consumo é uma variável válida para expressar a conversão alimentar;

c) o peso da produção de grãos das cinco plantas mais vigorosas da parcela pode não ser uma variável válida para expressar a produção de grãos na parcela;

d) o peso dos frutos dos ramos inferiores da planta pode não ser uma variável válida para expressar o peso da produção de frutos.

Uma situação comum de variável não válida é a representação dos níveis de uma característica por números absolutos quando razões são mais apropriadas.

Exemplo 7.10

Se uma granja A tem 20 animais infectados com um vírus e outra granja B, 30 animais, isso não significa que o nível de infecção da granja B é mais elevado do que o da granja A. De fato, se os rebanhos das granjas A e B compreendem 1.000 animais e 6.000 animais, respectivamente, suas correspondentes taxas de infecção desse vírus são 0,02 e 0,005, ou seja, 2% e 0,5%, respectivamente.

É fácil avaliar se uma variável é uma expressão válida de uma característica quando a característica é claramente entendida. Esse é o caso de características físicas, como comprimento, altura e peso de um indivíduo. Certas características como a intensidade de infecção de animais com um vírus e o grau de incidência de uma doença fúngica em plantas de uma espécie cultivada, são menos claras e compreensíveis, mas se pode ter uma boa idéia do que elas significam e como se deve medi-las. Entretanto, em algumas situações a característica a ser medida é tão obscura que pessoas razoáveis podem discordar sobre a validade de uma variável para exprimi-la. Esse é o caso de certas características em ciências sociais, como inteligência, personalidade autoritária e aptidão para o estudo de línguas.

A regra de correspondência entre os níveis de uma característica e os números de um conjunto numérico que define uma variável determina uma **escala de medida**. A definição da escala de medida depende das pressuposições referentes às regras dessa transformação.

O termo "escala de medida" é usualmente relacionado com instrumentos como régua, balança e copo de medida, que são utilizados para determinar comprimento, peso e volume. Ou seja, comumente tende-se a associar a mensuração com um processo de medida física com escala bem definida que possui uma origem ou ponto zero natural e uma unidade de medida constante. Frequentemente, entretanto, características devem ser representadas por variáveis com escalas de medida menos informativas, que não possuem as propriedades associadas com a maioria das medidas físicas. Seja, por exemplo, a característica sexo dos cordeiros de um rebanho. Essa característica, que tem dois níveis: macho e fêmeo, pode ser representada por uma variável com dois valores numéricos, sejam 0 e 1, respectivamente. A média desses valores para o rebanho é um valor entre 0 e 1, que não tem sentido, já que não há qualquer nível da característica sexo entre macho e fêmea.

As escalas de medida podem ser classificadas nas seguintes principais categorias:

- nominal,
- ordinal,
- intervalar e
- racional.

Cada uma dessas escalas de medida possui seu próprio conjunto de pressuposições referentes à correspondência de números com entidades do mundo real e ao significado das várias operações matemáticas sobre esses números.

Escala nominal

Uma variável de **escala nominal** classifica as unidades em classes ou categorias quanto à característica que representa, não estabelecendo qualquer relação de grandeza ou ordem.

A escala nominal é a menos restritiva. Neste tipo de escala de medida os valores da variável servem apenas como rótulos para identificar ou classificar as unidades quanto à característica representada pela variável. Assim, os valores da variável identificam as classes em que as unidades se classificam quanto à característica, de modo que todas as unidades de uma classe são "iguais" ou equivalentes quanto a essa característica. Essa é a propriedade da equivalência ou igualdade de classes ou valores.

Exemplo 7.11

a) A identificação dos animais de um rebanho pode ser procedida pela assinalação de um número a cada animal de modo que cada animal receba um número diferente. Qualquer conjunto de números é apropriado para esse propósito, desde que cada animal receba um número e cada número identifique apenas um animal. Assim, estabelece-se uma correspondência biunívoca entre os números de um conjunto numérico e animais do rebanho. Esse processo define uma regra simples para relacionar cada rótulo numérico com um animal particular.

b) Suponha-se uma fazenda com diversos rebanhos, um rebanho de cada raça, em que o processo de identificação numérica dos animais compreenda duas partes, a primeira para identificar o rebanho e a segunda, o animal dentro do rebanho. Cada animal de um rebanho particular recebe o mesmo rótulo numérico do prefixo (primeira parte da identificação) e um rótulo numérico específico da segunda parte que o individualiza dos outros animais do mesmo rebanho. Nesse caso, consideram-se classes de unidades. Todos os membros de uma classe são "iguais" com relação à propriedade que distingue as classes. O prefixo da identificação distingue os rebanhos ou raças de animais; o sufixo da identificação distingue os animais de um mesmo rebanho ou raça.

Observe-se que todos os animais de uma mesma raça são "iguais" apenas no sentido de possuírem a propriedade comum de pertencerem à mesma raça. Eles diferem, naturalmente, quanto a outras características, como idade e peso. Eles retêm a identificação de suas individualidades através do sufixo numérico.

Variáveis de escala nominal apresentam as seguintes três propriedades referentes à igualdade ou equivalência de classes: 1) reflexividade: uma unidade é equivalente a ela própria, ou seja, se a é o valor de uma unidade da classe A , então $a=a$; 2) simetria: se uma unidade A é equivalente a uma unidade B , então a unidade B é equivalente à unidade A , ou seja, se a e b são valores de duas unidades A e B , respectivamente, então $a=b$ implica $b=a$; 3) transitividade: se A e B são unidades equivalentes e B e C são unidades equivalentes, então A e C são unidades equivalentes, ou seja, se a , b e c são os valores de três unidades A , B e C , respectivamente, então $a=b$ e $b=c$ implica $a=c$.

Operações aritméticas sobre valores de variável nominal não têm qualquer significado com respeito aos objetos do mundo real que eles representam. A escala nominal permite apenas algumas operações aritméticas mais elementares, como a contagem e a determinação da frequência de unidades com cada valor da variável. Também permite inferências referentes às frequências desses valores. Por exemplo, para a situação do **Exemplo 7.11**, pode-se contar o número de animais de cada classe (raça) e determinar a classe mais numerosa, ou seja, a moda da distribuição; e pode-se efetuar testes de hipóteses estatísticas referentes à distribuição das unidades nas classes da população objetivo. Entretanto, como uma escala nominal apenas classifica unidades, mas não infere grau ou quantidade, as várias classes não podem ser manipuladas matematicamente (por exemplo, por adição ou subtração de equivalentes numéricos daquelas classes). Conseqüentemente, a maioria das estatísticas usuais, como média e desvio padrão não têm sentido, pois as operações para sua determinação não são permissíveis.

Escala ordinal

Uma variável de **escala ordinal** classifica as unidades em classes ou categorias quanto à característica que representa, estabelecendo uma relação de ordem entre as unidades.

A escala ordinal é uma escala de ordenação. Esta escala designa a posição relativa das classes (ou das unidades classificadas) segundo uma direção. Entretanto, uma variável ordinal não possibilita a comparação de diferenças entre unidades com respeito à característica que ela exprime. Nessas circunstâncias, qualquer variável com o mesmo número de valores e com mesma ordenação desses valores é igualmente apropriado para a expressão da característica. Essa propriedade significa que a escala ordinal é invariante sob transformações que preservem a ordem. Ou seja, uma escala ordinal pode ser transformada em outra escala ordinal.

Exemplo 7.12

Os animais de um rebanho podem ser ordenados segundo o grau de infestação de carrapato, através da assinalação do número zero para indicar a ausência de infestação e dos números 1, 2 e 3 para indicar níveis crescentes de infestação, tais como infestações baixa, média e elevada. Observe-se, entretanto, que a ordenação dos animais não permite a comparação de "diferenças" entre animais com respeito ao grau de infestação; por exemplo, não se pode saber se a diferença entre os níveis de infestação de dois animais com os graus de infestação 1 e 2 é menor, igual ou maior que a diferença entre os níveis de infestação de dois animais com graus de infestação 2 e 3. Isso significa que qualquer outro conjunto de 4 números que preserve a relação de ordem dos números 0, 1, 2 e 3 é igualmente apropriado para essa mesma mensuração do grau de infestação dos animais.

A escala ordinal mantém a propriedade da escala nominal de equivalência de classes, no sentido de que unidades equivalentes têm o mesmo valor, ou seja, são assinaladas à mesma classe ou ordem. Além da propriedade de simetria da escala nominal, a escala ordinal tem a propriedade de assimetria. Isso significa que classes podem ser designadas não apenas como equivalentes a outras classes, mas também como não equivalentes. Assim, por exemplo, uma escala ordinal pode designar que a classe a é maior do que a classe b e, portanto, que a classe b é menor que a classe a. A propriedade de transitividade é preservada na escala ordinal: se a classe a é maior que a classe b, qualquer unidade particular da classe a é maior que qualquer unidade particular da classe b.

Essas propriedades adicionais caracterizam a superioridade da escala ordinal em relação à escala nominal. Entretanto, as descrições estatísticas ainda são limitadas. As medidas de posição restringem-se à mediana, quartil, percentil e outras medidas que possam ser determinadas a partir de ordens. Isso porque as operações aritméticas usuais não podem ser efetuadas com símbolos que caracterizam apenas ordem e designam quantidade de modo vago. Em particular, a prática de calcular índices de ordem globais, como a ordem ponderada dos animais de cada rebanho para comparação dos graus de infecção dos rebanhos, é suspeita. Alguns procedimentos estatísticos são especificamente apropriados para dados de ordem, como o teste do sinal e o teste de corrida ("run test").

Escala intervalar

Uma variável de **escala intervalar**, além de ordenar as unidades quanto à característica mensurada, possui uma unidade de medida constante; entretanto, a origem (ponto zero) dessa escala é arbitrária.

A escala de intervalo (ou escala intervalar) aproxima-se da concepção comum de medida, já que possui uma unidade de medida constante. Dessa forma, a escala de intervalo permite a determinação de diferenças entre unidades mensuradas. Entretanto, o valor zero de uma variável com escala intervalar não significa ausência da característica mensurada. Como conseqüência, a origem ou ponto zero desta escala é arbitrário. Isso significa que com essa escala relações de proporções não têm sentido.

Exemplo 7.13

a) Os exemplos mais comuns de escala de intervalo são as escalas Celsius e Fahrenheit, que são usadas para medir a temperatura. Observe-se que um objeto com temperatura de 0°C não é um objeto sem temperatura. Por essa razão o valor zero dessas escalas é arbitrário. Cada uma dessas escalas assinala um zero arbitrário e diferenças de temperatura iguais são determinadas através da identificação de volumes iguais de expansão do líquido usado no termômetro. Entretanto, não se pode dizer que um valor em um intervalo específico da escala seja um múltiplo de outro. Por exemplo, não é correto dizer que um objeto com 30°C é duas vezes mais quente que um com temperatura de 15°C. Segundo a fórmula de conversão de graus Celsius

para graus Fahrenheit: $T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$, essas temperaturas expressas em graus Fahrenheit são,

respectivamente 86°F e 59°F que não estão na razão 2:1. Pode-se dizer, entretanto, que uma diferença entre dois valores em uma escala é um múltiplo de uma diferença entre dois outros valores. Por exemplo, a diferença 30°C - 0°C é o dobro da diferença 15°C - 0°C. As correspondentes diferenças na escala Fahrenheit são 86°F - 32°F e 59°F - 32°F, que estão na mesma razão 2:1.

b) A mensuração da temperatura dos animais de um rebanho permite determinar quanto um animal é mais quente do que outro. Mas se um animal A tem temperatura de 35°C e outro animal B temperatura de 40°C, não se pode dizer que a temperatura do animal B é $5/35 = 1/7$ mais elevada do que a temperatura do animal A.

A escala de intervalo é invariante sob transformações lineares positivas (ou seja, transformações da forma $y=a+bx$, $b>0$). Isso significa que uma escala de intervalo pode ser transformada em outra por meio de uma transformação linear positiva.

A maioria das medidas estatísticas descritivas, tais como média, desvio padrão, coeficiente de correlação requerem apenas escala de intervalo. Por exemplo, se a temperatura média de uma cidade em um mês é determinada em graus Celsius ou em graus Fahrenheit, os dias do mês de temperatura superior à média são os mesmos sob cada uma destas duas escalas. Entretanto, algumas medidas estatísticas, como o coeficiente de variação, podem ser enganosas quando aplicadas a dados de variável de escala intervalar.

Escala racional

Uma variável de **escala racional** ordena as unidades quanto à característica mensurada, possui uma unidade de medida constante e uma origem (ponto zero) única.

A escala de razão, ou escala racional, é a mais elaborada das escalas de medida, no sentido de que permite todas as operações aritméticas. Essa escala possui um ponto zero único, além de unidade de medida constante. É a escala de medida mais comum nas ciências físicas, tais como as escalas para a medida de comprimento, peso, etc. Como a designação sugere, razões iguais entre valores da escala racional correspondem a razões iguais entre as unidades mensuradas. Dessa forma, escalas de razão são invariantes sob transformações de proporção positivas, ou seja, transformações da forma $y=cx$, $c>0$. Isso significa que se pode efetuar a transformação das medidas de uma

escala racional para outra escala racional meramente pela multiplicação por uma constante apropriada.

Exemplo 7.14

Se uma planta tem 3m e a outra 1m, pode-se dizer que a primeira planta tem altura 3 vezes superior a da segunda. Isso porque, se as alturas das duas plantas forem transformadas em centímetros, suas medidas serão, respectivamente, 30cm e 10cm, que estão na mesma razão 3:1. Pode-se efetuar a transformação das medidas da escala racional que tem como unidade de medida o metro para a outra escala racional que tem o centímetro como unidade de medida meramente pela multiplicação por 10.

A escala racional mantém todas as propriedades das escalas de ordens mais baixas – escalas nominal, ordinal e intervalar, ou seja, tem as propriedades da equivalência de classes, da ordenação de classes e da igualdade de diferenças. Todas as estatísticas descritivas podem ser determinadas para os valores de uma variável expressa em escala racional.

Outras classificações e designações de variável

Variáveis são mais comumente classificadas segundo duas classes:

- variável qualitativa e
- variável quantitativa.

Variáveis com escala de medida nominal ou ordinal são usualmente denominadas **variáveis qualitativas** porque seus níveis se distinguem qualitativamente. Também são denominadas **variáveis categóricas**, já que seus níveis designam categorias, ou classes, em que se classificam as unidades segundo a característica representada. Por outro lado, variáveis de escala intervalar ou racional são denominadas **variáveis quantitativas** porque seus níveis se relacionam quantitativamente.

Variáveis também podem ser classificadas nas seguintes duas categorias:

- variável discreta e
- variável contínua.

Uma variável que assume valores de um conjunto de números reais isolados, ou seja, de um conjunto discreto de números reais, é uma **variável discreta**; uma variável que pode assumir qualquer valor de um intervalo de números reais é uma **variável contínua**.

Variáveis qualitativas ou categóricas, ou seja, de escala de medida nominal ou ordinal, são, por definição, discretas e finitas, ou seja, assumem um conjunto finito de valores distintos. Variáveis com escala de medida intervalar ou racional podem ser discretas, assumindo um conjunto finito ou infinito de valores distintos, ou contínuas. Por exemplo, variáveis que exprimem a quantidade de frutos em uma árvore e a quantidade de leitões de uma leitegada são variáveis discretas finitas; variáveis que exprimem o peso e a altura de um animal ou de uma planta são variáveis contínuas.

Observe-se que a mensuração através de uma escala intervalar ou racional pode ser considerada como uma forma refinada de classificação. Se os cordeiros de um rebanho são pesados com uma balança com aproximação de gramas, o resultado é a distribuição dos animais entre categorias discretas de peso, em que categorias vizinhas diferem por uma grama. Se a pesagem é efetuada em uma balança com aproximação de miligramas, o número de categorias possíveis cresce consideravelmente, mas o princípio

permanece o mesmo. Dessa forma, na prática, o processo de mensuração, mesmo de variáveis conceitualmente contínuas, constitui uma classificação de unidades.

Escolha da escala de medida

Para algumas características a escolha da escala de medida é limitada por natureza. Mais freqüentemente, entretanto, uma característica pode ser expressa, alternativamente, por mais de uma variável com escalas de medida de níveis de precisão diferentes.

Exemplo 7.15

- a) O sexo e a raça de um animal são necessariamente expressos em escala nominal.
- b) O tamanho da semente de uma cultivar pode ser expresso por uma variável nominal de dois níveis: 0 - anormal, 1 - normal; ou por uma variável ordinal: 1 - muito pequena, 2 - pequena, 3 - média, 4 - grande e 5 - muito grande; ou por uma variável racional cujos níveis são os números de um determinado intervalo de números reais.

Se uma característica pode ser alternativamente expressa por variáveis de escalas nominal, ordinal, intervalar e racional, a ordenação das quantidades de informação providas por medidas individuais por variáveis nessas escalas é a seguinte:

nominal < ordinal < intervalar < racional.

Entretanto, a escolha da escala de medida deve levar em conta a importância da característica resposta e considerações de ordem teórica e de ordem prática. Sob o ponto de vista teórico, o pesquisador deveria utilizar, sempre, a escala de medida de nível mais elevado, ou seja, a escala racional, particularmente para variáveis respostas primárias. Entretanto, considerações de ordem prática também devem ser levadas em conta, particularmente a disponibilidade de recursos, como instrumentos de mensuração e pessoal habilitado para executar a mensuração. Considerações estatísticas também são importantes, já que os dados originados da pesquisa terão que ser submetidos à análise estatística. De modo geral, a metodologia estatística está mais desenvolvida e popularizada para variáveis de distribuição normal, que são variáveis contínuas com escala racional.

Em muitas pesquisas, características intrinsecamente quantitativas são expressas por variáveis de escala ordinal cujos níveis são atribuídos subjetivamente por um avaliador. Esse é freqüentemente o caso de características que compreendem o grau ou intensidade de alguma propriedade mensurada através de avaliação visual, como grau de infecção de alguma doença ou infestação de alguma praga. Para representar uma tal característica é freqüente definir uma variável com o nível mais baixo igual a zero para exprimir o grau ou intensidade nula, como ausência do sintoma; intensidades crescentes são expressas pelos números inteiros seguintes, ou seja, 1, 2,... ; por exemplo, 0 - sem infecção, 1 - infecção fraca, 2 - infecção média, 3 - infecção elevada e 4 - infecção muito elevada.

Tais variáveis são geralmente inconvenientes, por exprimirem uma característica contínua de modo muito impreciso e pelas dificuldades que decorrem para os procedimentos de inferência estatística.

Características contínuas devem ser expressas, sempre que possível, por variável contínua, mesmo em mensurações subjetivas. Assim, por exemplo, a avaliação da intensidade de infecção de ferrugem em folhas de trigo é feita em porcentagem, com uma escala de medida contínua de valores entre 0 e 100, utilizando como padrões figuras de folhas com intensidades de infecção correspondentes a pontos arbitrários dessa escala. Intensidades de infecção de amostras de folhas são mensuradas por meio de comparação do aspecto da folha com esses padrões e interpolação nessa escala contínua.

Exercícios 7.1

1. Considere as características respostas listadas para cada um dos seguintes experimentos cujos objetivos são resumidos pelos respectivos títulos:
 - A - "Estudo da eficácia de fungicidas no tratamento de semente de cebola". Características respostas: peso do bulbo, número de bulbos, peso médio do bulbo, grau de infecção da planta.
 - B - "Estudo do efeito do hormônio estradiol sobre o desenvolvimento corporal de suínos da raça Landrace". Características respostas: tempo para o abate, ganho médio diário de peso, peso ao abate, peso de carcaça fria, consumo de ração, conversão alimentar, rendimento de carcaça, comprimento de carcaça, área do olho de lombo.
 - C - "Efeito da adubação foliar sobre a produção de uva da cultivar Itália". Características respostas: peso dos cachos, número de cachos, peso médio do cacho, brix, acidez.
 - D - "Efeito do controle de nematóides gastrintestinais através do uso do anti-helmíntico HCG 8117 sobre a produção de carne de ovelhas de descarte da raça Ideal". Características respostas: peso corporal a cada 28 dias do período experimental, peso de carcaça quente, peso de carcaça fria, rendimento de carcaça, número de ovos nas fezes, número de vermes nas vísceras.
 - a) Classifique cada uma das características respostas de cada um desses experimentos segundo sua relação com os objetivos do respectivo experimento, em uma das duas seguintes categorias: característica resposta primária e característica resposta secundária.
 - b) Classifique cada uma dessas características respostas em uma das seguintes categorias: característica resposta original ou pura, e característica resposta derivada.
 - c) Quais dessas características são características respostas intermediárias? Quais são características respostas substitutas?
 - d) Indique a escala de medida de cada uma dessas características respostas e uma correspondente unidade de medida, se for o caso.
2. Responda as mesmas questões formuladas no exercício 1 para cada um dos experimentos considerados como exemplos da **Seção 5.9**.
3. Explique o significado de validade de uma variável e ilustre um experimento com três variáveis respostas com níveis de validade diferentes.
4. Para cada uma das seguintes situações são especificadas a característica resposta de interesse e duas variáveis para representá-la. Indique qual das duas variáveis respostas é mais válida para expressar a correspondente característica.
 - a) Característica: produção de carne, em um experimento de lotação do potreiro com bovinos de corte; variável 1: peso corporal, em kg/animal; variável 2: peso corporal, em kg/ha.
 - b) Característica: valor comercial da produção, em um experimento de comparação de cultivares de batatinha; variável 1: produção total de tubérculos, em kg/ha; variável 2: peso da produção comercial de tubérculos, em kg/ha.
 - c) Característica: produção de frutos, em um experimento de espaçamento de plantio de pessegueiro; variável 1: peso da produção de frutos, em kg/ha; variável 2: peso da produção de frutos, em kg/planta.
 - d) Característica: produção de carne em um experimento de nutrição de suínos em que o animal é abatido ao atingir 90 kg; variável 1: peso corporal, em kg/animal; variável 2: ganho médio diário de peso corporal, em kg/animal.
 - e) Característica: idade de um coqueiro; variável 1: número de anéis no tronco; variável 2: diâmetro do tronco medido quatro metros acima do solo, em cm.
5. Ilustre, através de exemplos, características respostas que envolvam os seguintes graus de dificuldade de mensuração: simples, intermediário e complexo.
6. Explique e ilustre o significado de escala de medida.

7. Conceitue e exemplifique cada uma das quatro escalas de medida: nominal, ordinal, intervalar e racional.
8. Caracterize as quatro escalas de medida quanto às operações aritméticas que permitem.
9. O que distingue escala de medida ordinal de escala de medida nominal?
10. Ilustre, através de um exemplo, uma característica resposta que possa ser expressa, alternativamente, por variáveis de três diferentes níveis de precisão. Comente sobre a conveniência e inconveniência de cada uma dessas três variáveis.
11. Ilustre, através de exemplos, como a escolha de uma escala ordinal para exprimir uma característica contínua pode implicar na precisão da expressão da característica.
12. Variáveis são muito freqüentemente classificadas em duas categorias: qualitativas e quantitativas. Classifique nessas duas categorias variáveis de escalas nominal, ordinal, intervalar e racional.
13. Variáveis também são freqüentemente classificadas em discretas e contínuas. Explique e ilustre esses conceitos.
14. Em que escalas de medidas são expressas variáveis que exprimem contagem (número de frutos em árvores de um pomar, número de vermes nas vísceras de animais de um rebanho, por exemplo)?

7.4 Processo de Mensuração

Escalas de medidas quantitativas e processos de mensuração objetivos são conhecidos e disponíveis para muitas características. Para essas situações, pode não haver dúvidas sobre o procedimento de mensuração e dificuldades para implementá-los. Esse é o caso, por exemplo, da mensuração do peso de um animal e do peso da produção de frutos de uma planta frutífera. Muito freqüentemente, a mensuração de características de um produto apresenta pouca dificuldade, quando o produto e a característica resposta são claramente definidos. A atividade de pesquisa intensa também já estabeleceu métodos de mensuração confiáveis de características físicas e químicas usuais. Em áreas de pesquisa iniciantes, entretanto, muitos procedimentos de mensuração são rudimentares e é requerido o desenvolvimento de metodologias de mensuração mais elaboradas. Em casos extremos, a metodologia de mensuração pode constituir um problema ainda não resolvido e limitante. Nessas circunstâncias, não poderão ser conduzidas pesquisas confiáveis até que sejam desenvolvidos procedimentos de mensuração apropriados.

A mensuração de uma característica resposta pode ser simples e efetuada diretamente com instrumentos simples e disponíveis, como as determinações do peso e do comprimento, ou muito laboriosa e requerendo a utilização de processos e instrumentos complexos, sofisticados e caros, como a determinação de características químicas do vinho através de microvinificação.

Mensuração subjetiva

Em muitas situações, características são mensuradas subjetivamente através de um avaliador. Por exemplo, grau de infecção de uma planta e condição corporal de um animal, através de avaliação visual; características organolépticas do vinho, através de degustação; e quantidade de microorganismos, através de avaliação visual com auxílio de microscópio. Tais mensurações exigem técnicas e procedimentos especiais, como treinamento de avaliadores, uso de critérios e padrões uniformes e bem estabelecidos, e cuidados para evitar tendenciosidade. Um exemplo é o procedimento para avaliação da intensidade de infecção de ferrugem em folhas de trigo, mencionado no último parágrafo da **Seção 7.3**.

Pesquisadores, técnicos e demais auxiliares devem ser intelectualmente não tendenciosos na execução da pesquisa. Mas avaliações subjetivas podem estar sujeitas

a tendenciosidade inconsciente, decorrente de preferência ou rejeição, ou de alguma outra origem. Em circunstâncias em que mensurações subjetivas possam estar sujeitas a tendenciosidade, pode ser conveniente que o avaliador não seja informado sobre a unidade que lhe é submetida para avaliação. Esse procedimento de controle da tendenciosidade da mensuração é denominado **mensuração cega** ou **avaliação cega**.

Exemplo 7.16

a) Em um experimento em tecnologia de alimentos para comparação de um novo processo com processos existentes em que tenha que ser avaliada alguma propriedade organoléptica do produto o avaliador pode ser influenciado a emitir julgamento favorável ao novo processo;

b) ao efetuar uma contagem de microorganismos com auxílio de uma lupa ou microscópio, o pesquisador ou um técnico de laboratório que sabe que duas unidades da amostra correspondem a um mesmo tratamento pode subconscientemente tender a forçar a contagem da segunda unidade a aproximar-se da primeira.

Nessas circunstâncias, é conveniente que as unidades a serem avaliadas sejam submetidas ao avaliador sem identificação de sua origem.

Conforme salientado na **Seção 7.3**, em geral são inconvenientes avaliações de características contínuas através do uso de escalas discretas ordinais com poucos valores arbitrários. Um procedimento geral para a geração de uma variável contínua para expressar uma característica contínua através de avaliações subjetivas é o seguinte:

- 1) constrói-se ou desenha-se uma régua graduada de 0 a 100;
- 2) estabelecem-se alguns pontos da régua ou percentagens particulares como padrões de referência correspondentes a vários graus de intensidade apropriadamente definidos;
- 3) efetua-se o treinamento dos avaliadores na interpretação desses padrões; e
- 4) efetua-se a avaliação de cada unidade da amostra através da indicação do ponto da régua a que corresponde a intensidade da característica manifestada.

Naturalmente, essas avaliações continuam subjetivas e imprecisas. Graus de objetividade e precisão mais elevados podem ser logrados através de treinamento apropriado de avaliadores. Observe-se, entretanto, que em experimentos comparativos interessa muito mais a ordenação apropriada das intensidades do que seus valores absolutos.

Em geral, é conveniente que avaliações subjetivas sejam procedidas por dois ou mais avaliadores. Então, a variável resposta é definida como a média das avaliações procedidas individualmente pelos distintos avaliadores. Dessa forma, obtêm-se avaliações menos subjetivas e mais precisas. Além disso, segundo o teorema central do limite, pode-se admitir que a variável resposta, compreendendo a média de diversas avaliações, tem distribuição aproximadamente normal.

Em experimentos em que são utilizados vários avaliadores e em que há expectativa de possível efeito de avaliador sobre variáveis respostas, o pesquisador tem duas alternativas para evitar o confundimento de efeitos de fatores experimentais com efeitos atribuíveis a avaliador:

- a) considerar avaliador como uma característica estranha e submetê-la a controle local de modo que, na situação mais simples, cada avaliador avalia um conjunto de unidades experimentais compreendendo uma repetição completa de todos os tratamentos; ou
- b) considerar avaliador como um fator experimental intrínseco.

A primeira alternativa é apropriada quando não é esperada interação entre avaliador e fatores experimentais, ou seja, não é esperada variação da resposta às

condições experimentais entre avaliadores. A segunda alternativa é adequada quando há expectativa dessa interação.

Qualidade do processo de mensuração

A qualidade do processo de mensuração pode ser dependente do tamanho, da abrangência e da complexidade da pesquisa. Essa questão, que é mais crucial em estudos observacionais e levantamentos, também pode ser importante na pesquisa experimental. Assim, em um experimento agrícola de campo conduzido em vários locais, pode ser difícil ou inviável a avaliação, em todos os locais, do grau de incidência de uma doença que dependa de conhecimento especializado do avaliador; também pode ser difícil a avaliação confiável de características da planta, como altura e acamamento. Nessas circunstâncias, é comum o registro de dados das variáveis respostas primárias, como o peso do grão no exemplo, em todos os locais, e o registro de dados de variáveis respostas secundárias apenas nos locais em que há recursos apropriados.

Em algumas circunstâncias, pesquisadores adotam práticas para a mensuração de características respostas que têm conseqüências importantes para a derivação de inferências referentes a essas características. Por exemplo: a) mensuração em parte da amostra, ou seja, em apenas algumas repetições, o que implica a redução da precisão das inferências referentes a essas variáveis (**Seção 6.5.3**); b) uso de amostras compostas de material colhido das diversas unidades experimentais com cada tratamento para a determinação do valor de uma variável resposta global para cada tratamento, o que torna inviável qualquer inferência estatística referente a tais variáveis. Esses procedimentos não devem ser utilizados para mensuração de características respostas primárias; podem ser apropriados para variáveis respostas secundárias, quando a mensuração dessas variáveis em cada unidade experimental é impraticável ou demanda trabalho e recursos não justificados por suas importâncias relativas para a consecução dos objetivos do experimento.

Em certas circunstâncias, o pesquisador pode ter que tomar a decisão de reduzir o número de características respostas a considerar em um experimento e, conseqüentemente, restringir os objetivos originais do experimento para permitir qualidade mais elevada da mensuração das características respostas.

Instante da mensuração

O instante da mensuração é um atributo importante de uma característica resposta. Em geral, a própria definição de uma variável resposta implica o estabelecimento do instante de sua mensuração. Por exemplo, a produção de frutos de uma planta frutífera, mensurada quando os frutos atingem um dado estado de maturidade; a produção de grãos de um conjunto de plantas, mensurada quando os grãos atingem um estado pré-estabelecido; e o peso de um animal ao abate, mensurado ao final de um dado intervalo de tempo.

A definição do instante de mensuração deve ser estabelecida precisa e explicitamente no plano do experimento, já que diferenças de instante de mensuração podem implicar variação substancial do valor da variável resposta. Essa questão é crucial quando o efeito de um fator de tratamento perdura com variação de intensidade em um intervalo de tempo durante o qual a característica resposta deve ser mensurada. Por exemplo, peso corporal em um experimento de nutrição animal em que animais são submetidos a diferentes dietas, e grau de incidência de uma praga em um experimento de controle de uma praga com inseticidas. Nessas circunstâncias é muito freqüentemente recomendável a mensuração em diversos instantes do intervalo de tempo em que são esperados efeitos dos tratamentos. Em algumas situações a determinação da forma da variação da resposta com o tempo é um propósito da pesquisa, o que demanda, necessariamente, essas mensurações sucessivas. Certos experimentos podem ter como objetivo a determinação da amplitude do intervalo de duração dos efeitos dos

tratamentos; nesse caso, o plano do experimento deve estabelecer mensurações sucessivas, em instantes prefixados, até que esses efeitos cessem.

Em algumas circunstâncias, uma característica resposta é mensurada sobre as unidades de observação em instantes diferentes, conforme essas unidades vão atingindo o ponto pré-estabelecido para mensuração. Por exemplo: a) características do fruto do pessegueiro, cuja colheita é procedida em diversas etapas, na medida em que os frutos atingem o estado de maturidade apropriado; b) peso ao abate e características referentes à carcaça de suínos, que são mensuradas individualmente sobre cada animal, na medida em que o animal atinge um peso pré-estabelecido (muito freqüentemente, 90 kg).

7.5 Erro de Medida

Em geral, a mensuração de uma característica nas correspondentes unidades de observação não é exata; ou seja, a medida registrada não é o verdadeiro valor da grandeza mensurada.

A diferença entre o valor mensurado de uma variável resposta em uma unidade de observação e seu valor “verdadeiro” nessa unidade é denominada **erro de medida** ou **erro técnico**:

$$\text{Erro de medida} = \text{valor observado} - \text{valor verdadeiro.}$$

Erros de medida podem ser sistemáticos ou aleatórios:

Um **erro de medida sistemático** é aquele em que os valores registrados da variável resposta são consistentemente acima, ou consistentemente abaixo, do valor verdadeiro. A observação nessas circunstâncias é dita **viciada**, **viesada** ou **tendenciosa**. Quando os valores observados distribuem-se uniformemente em torno do valor verdadeiro, o erro de medida denomina-se **erro de medida aleatório**.

Freqüentemente, erros de medida sistemáticos decorrem de causas que podem ser identificadas ou assinaladas; erros aleatórios são devidos a causas inexplicáveis, ou não identificáveis. Um erro sistemático repete-se semelhantemente para todas as medidas efetuadas ou é alguma função do valor verdadeiro da característica mensurada.

Em experimentos comparativos, erros de medida sistemáticos originam estimativas tendenciosas do erro experimental e de diferenças de efeitos de condições experimentais. Por outro lado, erros de medida aleatórios inflacionam essas estimativas, embora não tendenciosamente, e podem obscurecer diferenças de efeitos de condições experimentais. Em algumas situações, erros de medida aleatórios podem ser reduzidos com a adoção de observações múltiplas (ou repetidas) sobre cada unidade experimental elementar.

Erros de medida têm três origens:

- a) humana, ou seja, decorrente de variações entre observações de um mesmo indivíduo ou entre observações de indivíduos diferentes;
- b) instrumental, decorrente de falhas de instrumentos ou aparelhos utilizados nas mensurações; e
- c) diferenças de técnicas e de instrumentos de observação e mensuração, como as que podem ocorrer entre laboratórios.

Erro humano

Erros humanos decorrem de tendência pessoal e de descuidos dos indivíduos envolvidos no processo de mensuração. Em muitos processos de mensuração, tais como determinação do peso de unidades através de uma balança e determinação de microorganismos em uma colônia através de leitura por meio de microscópio, é comum que indivíduos diferentes obtenham resultados sistematicamente diferentes. Por exemplo, uma pessoa pode tender a cessar a observação de um evento sistematicamente antes de outra.

Um erro de mensuração humano também pode decorrer de circunstâncias particulares do indivíduo que executa uma mensuração pela primeira vez, ou a executa rotineiramente e de forma monótona. A chance desses erros aumenta com a fadiga do observador.

Esses erros também podem resultar de prejulgamentos muito comuns que implicam em certas tendências pessoais. Essas tendências pessoais são tão fortes que não só podem influenciar de modo marcante a frequência da ocorrência de diferentes dígitos na estimação de décimos da divisão de uma escala como também podem falsificar resultados que sejam simplesmente lidos e registrados diretamente.

Erros humanos relacionados ao tratamento de dados são muito comuns, como é o caso da preferência por dígitos particulares no arredondamento de dados. Na situação de grandes conjuntos de dados esses erros raramente implicam em tendenciosidade importante, mas podem ser muito substanciais com pequenos conjuntos de dados. Erros de arredondamento em manejo de dados podem ser evitados com o uso de computador e de programas que utilizam algoritmos que mantêm grande número de dígitos significativos nos cálculos. Erros referentes à preferência por dígitos podem ocorrer quando são feitas leituras de observações efetuadas através de instrumentos que envolvem julgamento; por exemplo, na determinação do último dígito de um número em uma balança, pode haver a preferência do observador em escolher certos dígitos, como 0 e 5, mais freqüentemente do que outros. Preferência por dígitos pode introduzir um erro aleatório ou sistemático cuja magnitude depende da importância do último dígito dos valores da variável resposta.

Erros de descuido decorrem, por exemplo, de colocação errada da vírgula em um número decimal, troca de sinal, transposição de algarismos, registro de inteiro errado, leituras invertidas e de incorreções de operações aritméticas. Muitos desses erros podem originar-se do uso de instrumentos impróprios ou de escalas de medida desnecessariamente complicadas.

Em geral erros humanos sistemáticos podem ser evitados ou minimizados através de iniciativas e precauções apropriadas, tais como treinamento de observadores para a aquisição da habilidade necessária, redução de períodos de trabalho monótono, verificação de resultados na medida em que as mensurações são efetuadas, e uso de procedimentos e instrumentos de mensuração adequadamente simples e objetivos. Com esses cuidados, erros humanos tornam-se aleatórios e podem ser ignorados.

Erro instrumental

Erros instrumentais são freqüentes em mensurações efetuadas através de instrumentos, particularmente em experimentos de laboratório. Podem ter diversas origens, tais como: a) falhas do instrumento de medida; por exemplo, uma balança pode estar graduada imperfeitamente, ou alinhada ou posicionada incorretamente; e b) uso de equações que são aproximações imperfeitas das relações que devem expressar no procedimento de mensuração. No que se refere a essa segunda origem, observe-se que muitos instrumentos de mensuração não medem diretamente a característica que devem medir, mas alguma outra característica que se relaciona com aquela através de alguma teoria. Se as condições da teoria não concordam adequadamente com a situação real, o

instrumento pode registrar valores diferentes dos apropriados. Por exemplo, um voltímetro converte a voltagem em uma posição do ponteiro, mas se a impedância da fonte da voltagem é muito elevada, a posição do ponteiro não expressará a voltagem verdadeira, porque os voltímetros são, de fato, metros de corrente conectados com uma resistência e funcionam adequadamente apenas com fontes de baixa impedância.

Erros instrumentais podem ser evitados ou reduzidos quando o observador está ciente de suas causas.

Esses erros podem ser aleatórios ou sistemáticos, e podem corresponder a diversas formas de desvios entre as medidas registradas e os respectivos valores verdadeiros. Algumas formas importantes são descritas a seguir e ilustradas na

Figura 7.1.

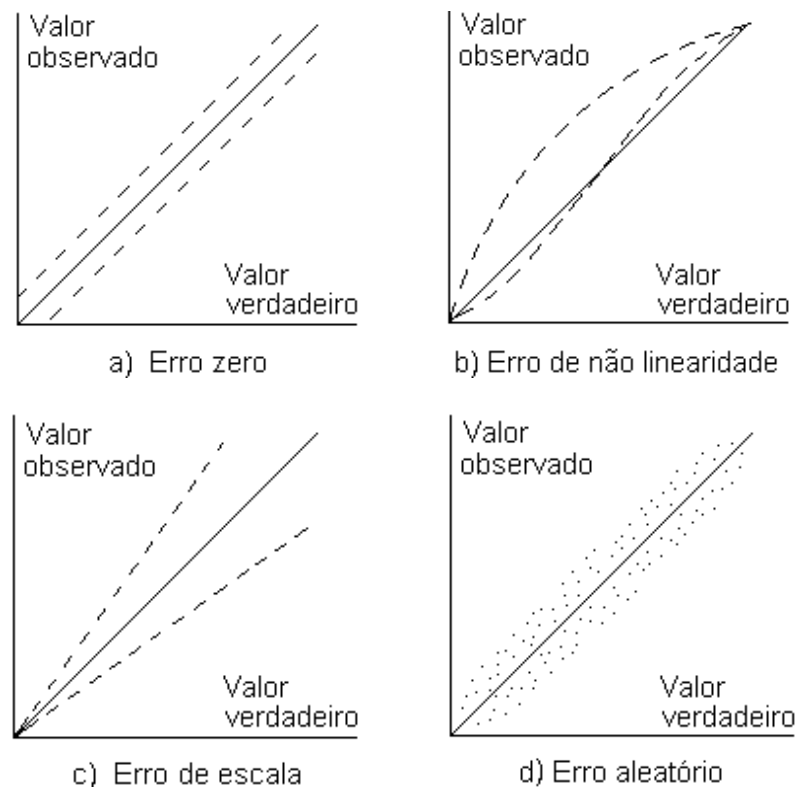


Figura 7.1. Ilustração de algumas formas de erro instrumental; a linha contínua refere-se à situação em que o valor observado da resposta é igual ao valor verdadeiro; linhas tracejadas e pontos representam erros de medida.

- **Erro zero** – observação consistente de valor diferente de zero para exprimir resposta nula (
- **Figura 7.1 a).** Esse tipo de erro sistemático decorre de falha de calibração do instrumento de mensuração que implica que seu ponto zero não corresponde ao valor zero da grandeza mensurada. Erro zero pode ocorrer, por exemplo, em medidas efetuadas com uma balança não calibrada.
- **Erro de não linearidade** – valor observado da variável resposta relaciona-se com o valor verdadeiro de forma não linear; por exemplo, de forma quadrática ou cúbica (
- **Figura 7.1 b).** Muito freqüentemente, o valor mensurado de uma característica relaciona-se linearmente com o valor verdadeiro, ou seja, o valor mensurado

cresce proporcionalmente com o valor verdadeiro. Erro de não linearidade é um erro sistemático que decorre de desvios dessa relação linear. Esse erro é comum, por exemplo, em medidas de tensão e em colorimetria.

- **Erro de escala ou erro de proporção** – desvio entre o valor observado e o valor verdadeiro da variável resposta aumenta proporcionalmente ao valor verdadeiro (
- **Figura 7.1 c).** Por exemplo, esse erro sistemático ocorre usualmente devido a ajustamento ou calibração incorreta do ganho eletrônico.
- **Erro aleatório** – valor observado varia de forma não sistemática em torno do valor verdadeiro (
- **Figura 7.1 d).** Esse tipo de erro é comum em tentativas para mensuração com sensibilidade além dos limites da resolução de um instrumento. A maioria dos instrumentos de mensuração tem uma especificação do nível de precisão das medidas que pode efetuar. Por exemplo, é inútil tentar registrar uma medida para a próxima grama com uma balança com precisão de apenas 10 gramas.

Essas fontes de erro de medida podem ocorrer simultaneamente. Em geral, erros de medida podem ser minimizados através de controle de técnicas experimentais. O controle de qualidade de procedimentos de laboratório, em particular a aferição e a calibração freqüente de instrumentos, é de suma importância para assegurar que os processos e procedimentos de observação e mensuração sejam executados de modo consistentemente satisfatório para que as medidas sejam fidedignas.

Em resumo, as causas de variação de medidas são muitas e diversas. Elas são erros humanos, instrumentais e de procedimentos, que podem ter componentes sistemáticos e não sistemáticos ou aleatórios. Esses últimos decorrem do efeito cumulativo de um conjunto de características não controladas, irrelevantes e desconhecidas. A ocorrência e a grandeza desses erros são completamente imprevisíveis e não sistemáticas, e, supostamente, sua soma para todos as unidades da população objetiva é nula.

7.6 Propriedades de um Processo de Mensuração

7.6.1 Precisão e exatidão de um processo de mensuração

É desejável que um processo de mensuração satisfaça algumas propriedades importantes. As propriedades gerais mais importantes são as seguintes:

- precisão,
- não tendenciosidade e
- exatidão.

A **precisão** de um processo de mensuração de uma característica refere-se à proximidade de medidas repetidas dessa característica que ele efetua em uma mesma unidade. O processo de mensuração é tão mais preciso quanto mais próximas se situam essas medidas repetidas.

Assim, a precisão é uma propriedade relativa. Em geral, não existe processo de mensuração para uma característica contínua de precisão absoluta, ou seja, cujas medidas repetidas sobre uma mesma unidade sejam idênticas. Essas medidas usualmente apresentam alguma variabilidade. Assim, pequena variação de medidas repetidas significa precisão alta; grande variação de medidas repetidas significa precisão baixa. Por exemplo, medidas repetidas do peso de um mesmo objeto efetuadas com uma balança A podem ser bastante próximas, enquanto que efetuadas com uma balança B

podem variar consideravelmente. Nesse caso, diz-se que o processo de mensuração com a balança A tem precisão mais elevada do que com a balança B.

O conceito de precisão é particularmente importante em processos de mensuração de características contínuas. De fato, em geral, medidas registradas como valores de uma variável contínua são realmente aproximações. Isso significa que qualquer processo ou instrumento de mensuração de uma característica expressa por uma variável contínua tem limites para sua precisão, que geralmente são especificados pelas divisões sucessivas de sua escala.

A **precisão** de um processo ou instrumento de mensuração de uma característica contínua é definida como a diferença comum entre as divisões sucessivas da escala desse instrumento, entre as quais se situa cada medida particular que ele provê.

Essas divisões ou pontos sucessivos são denominados **limites para a precisão** do instrumento de mensuração. A diferença comum entre duas divisões sucessivas é o **nível de imprecisão** das medidas que ele provê; a precisão é mais elevada quanto menor é essa diferença.

Exemplo 7.17

a) A menor divisão na escala de um termômetro clínico corresponde a $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, de modo que com tal termômetro pode-se medir temperatura com aproximação menor que $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou para o próximo $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Essa medida é mais precisa do que a permitida por um termômetro comum, em que a menor divisão da escala é de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, e menos precisa do que a medida provida por um termômetro eletrônico que pode medir temperatura com aproximação menor que $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os níveis de imprecisão desses termômetros comum, clínico e eletrônico são, respectivamente, 1°C , $0,1^{\circ}\text{C}$ e $0,01^{\circ}\text{C}$.

b) Quando se registra uma temperatura como $25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ com um termômetro com aproximação menor que $0,1^{\circ}\text{C}$ se está registrando uma aproximação para o valor da temperatura real. Embora ela possa ser $25,60000\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$, ela também pode ser $25,59999\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou $25,60001\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou outro valor em torno de $25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A precisão de um processo de mensuração de uma característica está relacionada à propriedade da **sensibilidade** desse processo, ou seja, a habilidade para detectar diferenças de valores dessa característica entre unidades de observação. Precisão mais elevada significa maior sensibilidade para detectar diferenças.

A precisão de um processo de mensuração não se refere à mensuração correta. Um processo de mensuração pode ser altamente preciso, determinando medidas sucessivas de uma característica de uma mesma unidade bastante próximas entre si, mas distantes do valor verdadeiro dessa característica. Um processo de mensuração nessas circunstâncias e as medidas que ele determina são ditos viesados, ou viciados, ou tendenciosos.

A diferença entre o valor médio das medidas repetidas de uma característica em uma unidade e o valor verdadeiro dessa característica é denominada **viés**, **vício** ou **tendência** do processo de mensuração.

Um processo de mensuração é tendencioso se ele sistematicamente superestima ou subestima o verdadeiro valor da característica. O viés é um erro de medida sistemático. Por exemplo, a pesagem efetuada com uma balança que sistematicamente provê o peso de um objeto 10 gramas mais elevado é tendenciosa.

As propriedades de precisão e não tendenciosidade são individualmente importantes, mas é desejável que um processo de mensuração satisfaça ambas, ou seja, que medidas repetidas que ele determina sejam próximas do valor real da característica.

A **exatidão** de um processo de mensuração de uma característica refere-se à proximidade das medidas dessa característica efetuadas repetidamente em uma mesma unidade relativamente ao valor real dessa característica. Um processo de mensuração de uma característica é tão mais exato quanto mais próximas de sua verdadeira grandeza se situam medidas repetidas efetuadas em uma unidade por esse processo.

A exatidão da mensuração de uma característica contínua, assim como a precisão e a não tendenciosidade, é uma propriedade relativa, ou seja, em geral, não existe um processo de mensuração de exatidão absoluta, ou seja, que determine para medida de uma característica contínua o valor verdadeiro dessa característica. Usualmente uma medida particular de uma característica determinada por um processo de mensuração não coincide com o valor verdadeiro dessa característica. Diz-se, então, que a exatidão de um processo de mensuração é mais elevada quanto menor é a diferença entre as medidas que ele efetua e os correspondentes valores reais; é mais baixa quanto maior é essa diferença.

Assim, a exatidão de um processo de mensuração é mais elevada quanto maior é a precisão e menor o viés desse processo. Exatidão elevada corresponde a viés pequeno e precisão elevada. Entretanto, exatidão baixa pode resultar de precisão baixa e viés pequeno ou grande, ou de viés grande e precisão baixa ou elevada. Por exemplo, pesagem efetuada com uma balança de precisão baixa tem exatidão baixa, independentemente do nível de viés da pesagem; pesagem efetuada com uma balança de viés elevado também tem exatidão baixa, independentemente do nível de precisão da pesagem. Pesagem efetuada com uma balança tem exatidão elevada somente se tem precisão elevada e viés baixo.

As relações entre precisão e exatidão de um processo de mensuração são ilustradas na

Figura 7.2, recorrendo à analogia com a precisão e a exatidão de um processo de tiro ao alvo., Essa Figura representa quatro situações diferentes relativas à dispersão dos pontos de impacto de seis balas disparadas por uma arma em um exercício de tiro ao alvo, que correspondem às quatro combinações dos níveis de precisão alto e baixo com os níveis de viés alto e baixo. Pode-se observar que exatidão elevada resulta apenas em uma dessas quatro situações: aquela em que a precisão é elevada e o viés, baixo.

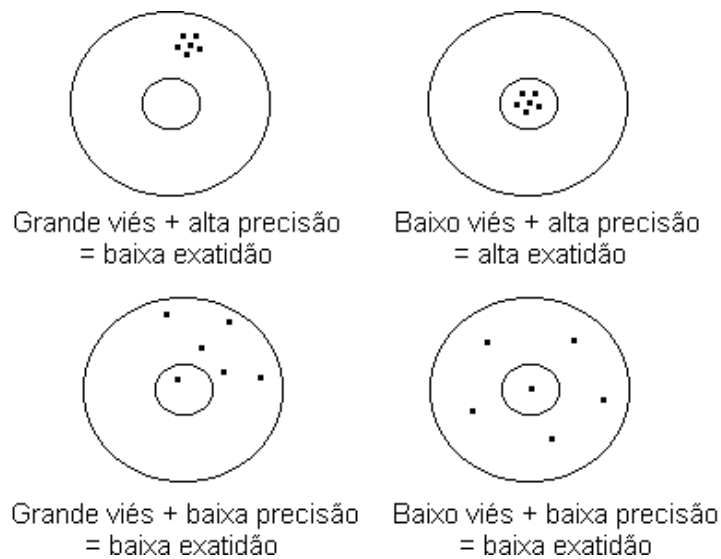


Figura 7.2. Ilustração dos conceitos de precisão e exatidão através de distintas situações referentes à dispersão dos pontos de impacto de seis balas em um exercício de tiro ao alvo.

Na **Seção 2.3.1** foram definidos os conceitos de confiabilidade e validade de um instrumento de observação. É comum o uso do termo “confiabilidade” para caracterizar a propriedade de estabilidade de um processo de mensuração, ou seja, a propriedade de produzir medidas sucessivas de uma mesma unidade próximas. Assim, um processo de mensuração é **confiável** se ele provê medidas com precisão aceitável; nessas circunstâncias, diz-se que as medidas determinadas por esse processo são confiáveis. Por outro lado, o termo “validade” é empregado para designar a propriedade de não tendenciosidade de um processo de mensuração: um processo de mensuração é **válido** se ele provê medidas não tendenciosas, ou seja, livres de erro sistemático; então, essas medidas são ditas válidas. Esse conceito de validade de uma medida é semelhante ao de validade de uma variável (**Seção 7.3**).

Assim, a confiabilidade de uma medida refere-se à relação de proximidade de medidas semelhantes determinadas sobre uma mesma unidade, enquanto a validade de uma medida refere-se à relação entre o que essa medida realmente exprime e o que é pretendido que ela exprima. Essas propriedades de confiabilidade e validade foram consideradas no contexto do experimento, nas **Seções 6.5.3 e 6.5.4**, respectivamente.

Processos de mensuração devem ter confiabilidade e validade apropriadas, ou seja, devem garantir a precisão (sensibilidade) e a exatidão adequadas para a determinação de valores da variável resposta. Não precisam prover precisão e exatidão mais elevadas do que as requeridas pelo experimento. Por exemplo, não é necessário o uso de uma balança com precisão de um miligrama em um experimento em que são importantes apenas diferenças da ordem de uma grama. Entretanto, a falta de precisão ou exatidão de um instrumento de medida pode prejudicar um experimento com elevado investimento de capital e executado em instalações de pesquisa altamente sofisticadas. A precisão e a exatidão de instrumentos de mensuração deve ser verificada periodicamente. Mudanças de instrumentos não devem ser efetuadas durante a execução de um experimento, e, se necessárias, devem ser efetuadas com cautela.

Observe-se que a falta dessas propriedades desejáveis pode não ser inata de um aparelho de mensuração, mas eventual, em decorrência de seu estado atual. Por exemplo, uma certa balança em perfeito estado pode prover medidas repetidas de um objeto bastante próximas; entretanto, se ela tem poeira acumulada em seu pivô, as

medidas desse mesmo objeto podem variar acentuadamente. Assim, um aparelho de mensuração confiável pode tornar-se não confiável. Por outro lado, um aparelho pode tornar-se tendencioso em decorrência de se desregular. Por exemplo, uma balança com exatidão de gramas pode passar a prover pesos de objetos consistentemente dez gramas mais elevados. Portanto, o controle de qualidade de processos de mensuração, em particular a aferição e a calibração freqüente de instrumentos e aparelhos utilizados nesses processos, é muito importante para assegurar que as mensurações tenham a confiabilidade e a validade desejáveis.

Saliente-se, também, que a precisão e a não tendenciosidade, e, portanto, a exatidão, não são propriedades absolutas. Mesmo os mais aperfeiçoados processos de mensuração de laboratório não são perfeitamente exatos. Em particular, medidas repetidas efetuadas por um processo altamente não tendencioso flutuam em torno do valor verdadeiro. Medidas nessas circunstâncias são ditas **aleatórias** no sentido de que elas variam de modo não sistemático e seguem uma distribuição de probabilidade particular, que pode ser caracterizada quando é efetuado um número suficientemente elevado de medidas. Uma propriedade relevante dessas medidas aleatórias é que a média de várias medidas é menos variável (ou seja, mais confiável) do que uma medida individual. Por essa razão, muitos processos de laboratório, particularmente em física e em química, adotam a repetição de mensurações e usam o valor médio das medidas determinadas. De fato, esse procedimento é recomendável para qualquer processo de mensuração que resulte em medidas consideravelmente variáveis.

7.6.2 Outras propriedades

Em algumas situações pode ser desejável que um processo de mensuração e as medidas que ele determina satisfaçam outras propriedades. Particularmente, em geral há interesse na similaridade de duas ou mais medidas de uma característica quantitativa determinadas por uma ou mais técnicas ou instrumentos de mensuração, ou por um ou mais observadores. Nessas circunstâncias as seguintes propriedades são particularmente importantes:

- repetibilidade,
- reprodutibilidade e
- estabilidade.

A **repetibilidade** refere-se à proximidade ou similaridade de medidas repetidas determinadas por uma técnica ou instrumento de mensuração, ou por um observador sob condições essencialmente idênticas; por exemplo, medidas efetuadas por um mesmo observador em um mesmo laboratório. A repetibilidade de um método de mensuração é mais elevada na medida em que um mesmo observador obtém medidas mais similares em uma mesma circunstância.

A **reprodutibilidade** diz respeito ao grau de concordância das medidas determinadas por dois ou mais métodos de mensuração de uma mesma característica. Esses métodos podem ser, por exemplo, observadores diferentes usando a mesma técnica ou um observador único usando técnicas diferentes.

Observe-se que para que um método de mensuração seja reprodutível é necessário que ele seja repetível.

A **estabilidade** de um método de mensuração refere-se à repetibilidade desse método em longo prazo.

A repetibilidade, a reprodutibilidade e a estabilidade de um processo de mensuração relacionam-se com a precisão desse processo. A avaliação dessas propriedades é muito importante para a caracterização da confiabilidade dos processos de mensuração e das medidas efetuadas. É recomendável que pesquisadores e

instituições de pesquisa mantenham o registro de medidas efetuadas e coletem material de referência para a verificação dessas propriedades.

As seguintes propriedades são especialmente importantes em mensuração de características categóricas em testes de diagnóstico de doenças de animais:

- sensibilidade,
- especificidade e
- valor de predição,

A sensibilidade, a especificidade e o valor de predição são propriedades aplicáveis a um processo de mensuração que visa a identificação dos níveis de uma variável resposta categórica nas unidades da amostra. Nesse contexto, a **sensibilidade** refere-se à habilidade do processo de mensuração para a identificação de um nível de interesse particular; a **especificidade** diz respeito à habilidade de identificação de um nível diferente desse nível de interesse; e o **valor de predição** refere-se à habilidade para identificação correta do nível da característica. Assim, a sensibilidade e a especificidade provêm medidas da validade do processo, enquanto o valor de predição provém indicação de sua utilidade.

Exemplo 7.18

Considere-se um teste para diagnosticar uma doença em animais de um rebanho. Cada animal particular desse rebanho tem a doença ou não a tem (ou seja, é positivo ou negativo para a doença). Se o teste de diagnóstico é baseado em uma variável quantitativa, então se pode decidir que é provável que um animal particular tenha a doença se a medida quantitativa para esse animal excede (ou está abaixo) de um certo valor. Tipicamente, esse valor é o limite de um intervalo de referência. Alternativamente, o teste de diagnóstico pode ser baseado em uma variável resposta qualitativa, tal como a presença ou ausência de algum sintoma. Em qualquer dessas duas situações, é desejado saber: a) quanto o teste é efetivo na identificação de animais positivos (sensibilidade); b) quanto o teste é efetivo na identificação de animais negativos (especificidade); e c) qual é a probabilidade de que o teste produza um diagnóstico correto, seja o animal positivo ou negativo (valor de predição).

7.7 Estrutura da Variável Resposta

Comumente, experimentos compreendem mais de uma variável resposta. As variáveis respostas que exprimem características respostas primárias, de maior relevância para os objetivos do experimento, devem ser consideradas para a derivação de inferências referentes aos efeitos causais dos fatores experimentais. As informações providas pelas demais variáveis respostas usualmente têm interesse apenas descritivo.

Em alguns experimentos, as variáveis que exprimem características respostas primárias são de interesse individual, ou são essencialmente independentes ou não relacionadas. Nessas situações, cada uma dessas variáveis respostas deve ser considerada separadamente no estabelecimento de inferências, através de **métodos univariados**. Entretanto, se as variáveis que exprimem características respostas primárias são de interesse coletivo, ou são dependentes ou relacionadas, elas devem ser consideradas conjuntamente, como um vetor de variáveis; nesse caso, a análise deve ser procedida através de **métodos multivariados**. Em algumas situações, as características respostas primárias, apesar de dependentes ou relacionadas, são de interesse individual ou não têm um mesmo nível de importância. Nessa e em algumas outras situações, pode ser conveniente a adoção complementar dos enfoques multivariado e univariado.

Exemplo 7.19

a) São variáveis de interesse individual, ou essencialmente independentes: peso de grãos e graus de incidências de septoriose, giberela e ferrugem, em um experimento de controle de doenças fúngicas de trigo; peso da produção e vigor de semente, em um experimento de fertilização do solo para a produção de semente de cebola; e tempo para o abate e comprimento do lombo, em um experimento de nutrição de suínos em que os animais são abatidos ao atingirem 90 kg de peso corporal.

b) São variáveis de interesse coletivo, ou dependentes: pesos das produções de tubérculos de primeira e de segunda, em um experimento de fertilização do solo para a produção de batatinha; perdas de peso na primeira, na segunda e na terceira semanas, em um experimento para pesquisa do efeito tóxico de uma droga em cobaias; e peso corporal, comprimento e altura da cernelha, em um experimento sobre o efeito do uso de anabolizantes em ovinos.

Em alguns experimentos, um subconjunto das variáveis respostas primárias corresponde, essencialmente, à mensuração de uma mesma característica resposta em instantes ou subintervalos diferentes de um intervalo de tempo. Um experimento nessas circunstâncias é usualmente denominado **experimento de observações repetidas** ou **experimento de medidas repetidas**. Para essas situações, há dois enfoques alternativos: a) considerar as respostas mensuradas nos instantes ou intervalos sucessivos como valores de variáveis respostas distintas, ou b) considerar essas respostas sucessivas como valores de uma única variável resposta, com os instantes ou intervalos sucessivos constituindo os níveis de um fator experimental intrínseco adicional, que se dispõem ao longo do tempo. Com o primeiro enfoque, tem-se um vetor de variáveis respostas, ou uma variável resposta multidimensional; com o segundo, uma variável resposta escalar, ou unidimensional. Nessas circunstâncias, adotam-se, respectivamente, métodos de análise estatística multivariada e univariada.

Exemplo 7.20

a) Em um experimento do efeito da composição da dieta após o desmame sobre o desenvolvimento corporal de terneiros, os pesos dos animais em diversos instantes do período experimental constitui um conjunto de variáveis respostas primárias, ou uma mesma variável resposta primária mensurada nesse conjunto de instantes. Nesse último caso, define-se um fator experimental cujos níveis são esses instantes sucessivos de mensuração.

b) Em um experimento com plantas frutíferas perenes, como o pessegueiro e a videira, as produções de frutos nas safras sucessivas constituem valores de um conjunto de variáveis respostas primárias, cada uma correspondente a uma safra particular, ou valores uma mesma variável resposta primária mensurada nessas safras sucessivas.

Exercícios 7.2

1. Ilustre uma situação em que a mensuração de uma característica é um processo rotineiro que não demanda conhecimento especializado; outra, em que requer treinamento do avaliador; e outra em que requer conhecimento altamente especializado.
2. Explique e ilustre com exemplo de sua área o significado de mensuração ou avaliação cega.
3. Caracterize a importância do instante de mensuração através de exemplos.
4. Explique e ilustre o significado de erro de medida.
5. Distinga e ilustre erro de medida sistemático e erro de medida aleatório.
6. A seguir, são listadas fontes de erros de medida em processos de mensuração de características respostas. Responda se cada dos erros de medida resultantes é um erro aleatório ou um erro sistemático.
 - a) Um pesquisador que registra temperatura em um termômetro tem uma preferência de dígito pelos números 0 e 5.
 - b) A calibração de um colorímetro não foi verificada antes de seu uso.

- c) A balança para a pesagem de sacos de ração para animais é ativada algumas vezes antes do saco ser colocado para pesagem e algumas vezes após, dependendo do operador.
 - d) Uma balança apropriada para pesar produtos químicos com precisão de 100mg é utilizada para pesar unidades com peso inferior a 100mg.
 - e) Falta de suprimento de energia para um congelador que é usado para preservar sêmen congelado por um intervalo de tempo de amplitude considerável.
 - f) Quatro degustadores são utilizados para avaliar propriedades organolépticas de alimentos preparados por diferentes processos, cada um dos quais avalia um quarto das unidades de observação.
7. Quais são os efeitos de erros de medida sistemáticos e aleatórios sobre as estimativas do erro experimental e das diferenças de efeitos de condições experimentais?
 8. Explique e ilustre as origens de erros de medida humanos. Como eles podem ser evitados?
 9. Explique e ilustre as principais formas de erros instrumentais. Como eles podem ser evitados?
 10. Explique a relação entre os significados de precisão e exatidão de um processo de mensuração.
 11. Ilustre uma situação em que o processo de mensuração é altamente preciso, mas de baixa exatidão.
 12. Explique os significados de sensibilidade, confiabilidade e validade de um processo de mensuração. Qual é a relação desses conceitos com os conceitos de precisão, não tendenciosidade e exatidão?
 13. Ilustre uma situação de variável resposta estruturada.
 14. O que significa uma característica resposta univariada e uma característica resposta multivariada? Ilustre esses dois conceitos através de exemplos.

Exercícios de Revisão

1. Conceitue: característica resposta e delineamento de resposta.
2. Distinga e ilustre com exemplos de sua área os conceitos de:
 - a) característica resposta primária e característica resposta secundária;
 - b) característica resposta original e característica resposta derivada.
3. Explique e ilustre o que significa uma característica resposta intermediária.
4. Dê um exemplo de uma característica resposta substituta.
5. Liste as características respostas para os experimentos dos exercícios 7 e 8 dos **Exercícios 5.1** e classifique-as segundo os dois critérios considerados no exercício 2.
6. Defina e ilustre os conceitos de característica e variável.
7. Explique e ilustre o significado de mensuração de uma característica.
8. Ilustre o processo de definição ou construção de uma variável para expressão de uma característica.
9. O que significa uma variável válida? Qual é sua importância?
10. Suponha que uma característica possa ser representada por uma variável de cada uma das quatro escalas de medida. Como se ordenariam essas variáveis quanto à precisão propiciada para a expressão dessa característica?
11. Identifique a escala de medida apropriada de cada uma das seguintes variáveis:
 - a) Cor do pelo de gatos.
 - b) Quantidade de espermatozoides móveis nos ejaculados de sete touros, coletados em um dado dia de março em um centro de inseminação artificial, registrada como: 71, 83, 66, 74, 69, 84 e 76%.

- c) Medida de absorção máxima de luz através de um espectrofotômetro em soluções de 260m μ de proteína de gema de ovo cujos valores foram: 0,672, 0,742, 0,596, 0,620 e 0,684 unidades arbitrárias.
 - d) Mobilidade de uma série de amostras de espermatozoides congelados e degelados, tomadas em uma escala arbitrária de valores inteiros entre 0 e 10, com o valor 0 indicando amostra completamente imóvel.
 - e) Tamanho de ninhada em uma pesquisa de uma alteração de comportamento de coelhos.
 - f) Condição corporal de cabritos.
 - g) Número de mortes por ano devidas a uma doença particular, em uma pesquisa epidemiológica.
 - h) Amplitude do intervalo de gestação (em dias) em vacas com gestação simples e de gêmeos.
12. Considere uma pesquisa para verificar se a alimentação de aves com um certo produto químico que as inibe de usar iodo provoca o aumento da glândula tireóide. Um conjunto de frangos é dividido em dois grupos, um dos quais recebe dieta regular e o outro, dieta regular acrescida desse produto. Após duas semanas, esses animais são mortos com clorofórmio para a dissecação e pesagem de suas glândulas tireóides. São registrados o peso corporal inicial e o peso corporal final de cada um dos animais e o peso da correspondente tireóide.
- a) Indique três variáveis respostas adicionais que poderiam ser derivadas combinando pares das variáveis originais.
 - b) Qual dessas seis variáveis respostas você consideraria mais relevante para os objetivos do experimento?
 - c) Especifique as características explanatórias consideradas nessa pesquisa e os respectivos níveis.
 - d) Identifique, justificadamente, o método de pesquisa adotado.
13. Mostre, através de um exemplo, que uma variável de escala racional pode ser transformada em variável de escala ordinal. Entretanto, uma variável de escala ordinal não pode ser transformada em variável de escala racional. Porque?
14. Variáveis com escalas de medida nominal, ordinal, intervalar ou racional, podem ser classificadas nas duas seguintes categorias: variável discreta e variável contínua. Como? Porque?
15. Porque variáveis nominais e variáveis ordinais são denominadas variáveis categóricas?
16. Mostre, através de exemplos, como a precisão da expressão de uma característica depende da escolha da escala de medida.
17. Ilustre, através de exemplos, como a definição da variável contínua para a representação de uma característica contínua depende da precisão do processo de mensuração.
18. Ilustre o uso de uma variável discreta ordinal cujos valores são notas atribuídas para a mensuração subjetiva de uma característica contínua. Como poderia ser construída uma variável contínua para a mensuração mais precisa dessa característica?
19. Ilustre um experimento com variáveis respostas que demandem processos de mensuração com níveis de complexidade diferentes.
20. Ilustre a situação de uma característica resposta que requeira avaliação subjetiva por um avaliador. Que problemas podem decorrer para a qualidade das medidas obtidas? Que ações devem ser tomadas para as soluções desses problemas?
21. Descreva um exemplo de uma característica resposta que requeira avaliação subjetiva por um avaliador em que não seja conveniente que ele seja informado sobre as condições experimentais nas unidades que deve avaliar.
22. Apresente ilustração de experimentos em que uma característica resposta deva ser avaliada subjetivamente em que o efeito do avaliador deva ser considerado como: a) característica estranha irrelevante; b) característica estranha relevante que deva ser controlada por controle local; c) fator experimental intrínseco.

23. Porque pode ser conveniente que avaliações subjetivas sejam efetuadas por mais de um avaliador em cada unidade?
24. Explique e ilustre como a determinação exata do instante de mensuração de uma característica pode ser de grande relevância.
25. Quais são as três fontes gerais de erros de medida?
26. Explique, através de exemplos, os significados de erro de medida humano e erro de medida instrumental.
27. Explique e ilustre os conceitos de precisão, viés e exatidão de um processo de mensuração.
28. Ilustre uma situação em que diversas características respostas compreendem, essencialmente, uma mesma característica considerada em diferentes instantes do tempo.
29. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
- Características respostas relacionadas diretamente aos objetivos do experimento são denominadas características respostas ; as demais características respostas são denominadas
 - Características respostas são mensuradas diretamente; características respostas determinadas a partir dessas são designadas
 - uma característica é representá-la através de números que apresentem entre eles as mesmas relações relevantes referentes aos níveis da característica que representam.
 - A representação de uma característica através de uma função numérica é uma
 - As escalas de medida compreendem quatro categorias: nominal,, intervalar e A escala classifica as unidades de observação em classes ou categorias quanto à característica que representa, mas não estabelece qualquer relação de grandeza ou ordem entre essas classes. A escala, além de ordenar as unidades quanto à característica mensurada, possui uma unidade de medida constante; entretanto, a origem ou ponto zero é arbitrária. A escala possui uma unidade de medida e uma única origem.
 - Variáveis de escalas nominal e ordinal são denominadas variáveis
 - Uma variável que assume valores de um conjunto de números reais isolados, ou seja, de um conjunto discreto de números reais, é uma variável ; uma variável que pode assumir qualquer valor de um intervalo de números reais é uma variável
 - A diferença entre o valor mensurado de uma variável em uma unidade de observação e seu valor “verdadeiro” nessa unidade é denominada Um erro de medida é aquele em que os valores registrados da variável resposta são consistentemente acima, ou abaixo, do valor real.
 - As três principais propriedades de um processo de mensuração são:, e refere-se à proximidade de medidas repetidas em uma mesma unidade de observação. significa igualdade entre a média de todas medidas repetidas da característica que podem ser efetuadas sobre uma mesma unidade e o verdadeiro valor da característica nessa unidade. Um processo de mensuração é se ele é preciso e
 - Os conceitos de confiabilidade e validade de um processo de mensuração estão relacionados com os conceitos de e, respectivamente.
 - Variáveis respostas podem ser estruturadas ou não estruturadas. Variáveis respostas são de interesse conjunto e relacionadas ou dependentes; variáveis respostas são de interesse individual e não relacionadas ou não dependentes. Métodos estatísticos para análise dessas duas

categorias de variáveis respostas são denominados e , respectivamente.

30. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando, entre parênteses, as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () Características respostas primárias devem ser necessariamente escolhidas para consideração em um experimento.
 - 2 () Características respostas secundárias são explicitamente indicadas pelos objetivos do experimento.
 - 3 () O processo de mensuração de uma característica demanda sua representação através de uma variável.
 - 4 () Em uma pesquisa científica, as características respostas e as características explanatórias da amostra devem ser necessariamente mensuradas.
 - 5 () As características estranhas da amostra não precisam ser mensuradas.
 - 6 () As características respostas em um experimento têm o mesmo nível de interesse.
 - 7 () O interesse relativo das características respostas depende de seu grau de relacionamento com o objetivo do experimento.
 - 8 () Toda característica que exprima a resposta dos sistemas sob pesquisa deve ser considerada como característica resposta no experimento.
 - 9 () O peso corporal ao abate é sempre uma característica resposta importante em experimentos de nutrição animal.
 - 10 () O processo de mensuração de uma característica demanda sua representação através de uma variável.
 - 11 () Em geral, a mensuração de uma característica resposta não é um problema.
 - 12 () Uma variável é uma regra de correspondência entre o conjunto das alternativas da característica e um conjunto numérico.
 - 13 () Cada característica pode ser representada por uma e somente uma variável.
 - 14 () Uma característica resposta é expressa por uma variável única.
 - 15 () Toda característica resposta deve ser expressa por uma variável.
 - 16 () Características respostas são necessariamente expressas por variáveis numéricas.
 - 17 () O pesquisador pode mensurar uma característica resposta com o grau de precisão que deseja.
 - 18 () A escolha da escala de medida da variável para representar uma característica é arbitrária.
 - 19 () A precisão da variável para a representação de uma característica é dependente exclusivamente da escolha do pesquisador.
 - 20 () O pesquisador deve exprimir uma característica resposta por uma variável com a escala de medida mais precisa permitida pelos recursos disponíveis para mensuração.
 - 21 () A escala de medida que permite precisão mais elevada é a escala intervalar.
 - 22 () A escolha da unidade de medida é irrelevante para os métodos estatísticos a serem adotados para a análise dos resultados do experimento.
 - 23 () A precisão da expressão de uma característica por uma variável depende da precisão do instrumento de mensuração utilizado.
 - 24 () A expressão de uma característica em escala ordinal permite mensuração com precisão mais elevada do que a escala nominal.
 - 25 () Operações aritméticas são permitidas com variáveis de escala ordinal.
 - 26 () Variáveis nominais e ordinais são usualmente denominadas variáveis categóricas ou variáveis de classificação.
 - 27 () Valores de uma variável em escala nominal compreendem categorias que não podem ser ordenadas.

- 28 () Variáveis nominais e ordinais são variáveis discretas.
- 29 () Variáveis intervalares e racionais são variáveis contínuas.
- 30 () Variáveis racionais podem ser convertidas em variáveis ordinais.
- 31 () Variáveis nominais podem ser transformadas em variáveis racionais.
- 32 () A transformação de uma variável de escala racional para escala ordinal não implica em perda de informação relevante referente à característica mensurada.
- 33 () Em geral, a mensuração de uma característica é uma atividade rotineira que não requer conhecimento especializado.
- 34 () Um processo de mensuração de elevada precisão pode ser de baixa exatidão.
- 35 () Um processo de mensuração de elevada exatidão pode ser de baixa precisão.
- 36 () Precisão e exatidão são propriedades igualmente importantes de um processo de mensuração.
- 37 () A exatidão elevada de um processo de mensuração requer viés baixo e precisão elevada das medidas efetuadas.
- 38 () A adequabilidade da expressão de uma característica por uma variável geralmente depende do momento da mensuração.
- 39 () A mensuração extemporânea de uma característica implica em viés das medidas.
- 40 () Diferentes características respondidas são necessariamente expressas por variáveis com distintas escalas de medida.

Conceitos e Termos Chave

- Característica resposta principal / primária
- Característica resposta intermediária
- Característica resposta original / pura / crua
- Variável
- Escala de medida
- Escala ordinal
- Escala racional / de razão
- Variável quantitativa
- Variável contínua
- Mensuração subjetiva
- Erro de medida / erro técnico
- Erro de medida aleatório
- Erro humano
- Viés / tendência / vício
- Confiabilidade
- Estrutura da variável resposta
- Método de inferência multivariado
- Característica resposta secundária / subsidiária
- Característica resposta substituta
- Característica resposta derivada / composta
- Variável válida
- Escala nominal
- Escala intervalar / de intervalo
- Variável qualitativa / categórica
- Variável discreta
- Processo de mensuração
- Mensuração cega / avaliação cega
- Erro de medida sistemático
- Erro instrumental
- Precisão
- Exatidão
- Validade
- Método de inferência univariado
- Observações repetidas / medidas repetidas

Bibliografia

- COBB, G. W. **Introduction to design and analysis of experiments**. New York; Springer-Verlag, 1998, 795p.
- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley. 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- FEDERER, W. T. **Statistics and society, data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- GREEN, P. E.; TULL, D. S. **Research for marketing decisions**. 2.ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970. 644p.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. Huntington, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979. 631 p.
- HEATH, D. **An introduction to experimental design and statistics for biology**. Londres: University College London, 1995. 372 p.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. v.1, 495p.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- MANDEL, J. **The statistical analysis of experimental data**. New York: Dover, 1984. 410p.
- PETRIE, A.; WATSON, P. **Statistics for veterinary and animal science**. Londres: Blackwell Science, 1999. 243p.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**, versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, 1996. 427p.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

8 Planejamento das Condições Experimentais

Conteúdo

8.1	Introdução.....	309
8.2	Fator de Tratamento e Fator Intrínseco.....	310
8.2.1	Fator experimental de tratamento.....	310
8.2.2	Fator experimental intrínseco	313
	Fator experimental intrínseco de estágio.....	315
	Fatores experimentais intrínsecos de espaço e de tempo.....	317
	Fator experimental intrínseco de classificação.....	317
8.2.3	Fator de tratamento ou fator intrínseco?.....	317
8.3	Classificação dos Fatores Experimentais.....	321
8.3.1	Fator qualitativo específico.....	321
8.3.2	Fator qualitativo ordenado.....	325
8.3.3	Fator quantitativo.....	326
8.3.4	Fator misto	327
8.3.5	Fator qualitativo amostrado	328
8.4	Fator Fixo e Fator Aleatório	330
8.5	Escolha dos Fatores Experimentais.....	333
8.6	Escolha dos Níveis dos Fatores Experimentais	337
8.6.1	Fator qualitativo específico.....	338
8.6.2	Fator qualitativo amostrado	340
8.6.3	Fator quantitativo.....	340
	Escolha dos níveis extremos.....	340
	Escolha do número e da posição dos níveis	341
8.6.4	Escolha de Tratamentos Adicionais.....	343
8.7	Escolha das Condições Experimentais	346
8.7.1	Introdução	346
8.7.2	Notação de fatores experimentais e representação de estruturas fatoriais.....	346
8.7.3	Estrutura unifatorial	347
8.7.4	Estrutura fatorial cruzada.....	348
	Estrutura fatorial cruzada completa.....	350
	Estrutura fatorial cruzada incompleta ou fracionária.....	356
	Estrutura fatorial cruzada estendida.....	360
8.7.5	Estrutura fatorial hierárquica ou aninhada	360
	Estrutura fatorial hierárquica balanceada	364
	Estrutura fatorial hierárquica não balanceada	366

8.7.6	Estrutura fatorial mista.....	367
8.8	Delineamento de Tratamento em Experimentos em Genética	370
8.9	Delineamento de Tratamento em Experimentos Seqüenciais	372
	Exercícios de Revisão	373
	Conceitos e Termos Chave.....	378
	Bibliografia.....	379

8.1 Introdução

O planejamento das condições experimentais deve ser conseqüente dos objetivos do experimento, que são definidos pelo problema científico e pela correspondente hipótese científica. Esse planejamento estabelece a estrutura das condições experimentais. Essa estrutura tem implicações relevantes para a estrutura do experimento e, portanto, para as inferências referentes às relações causais entre características respostas e características explanatórias que constituem o objetivo do experimento.

A escolha das condições experimentais, particularmente dos tratamentos, é tanto uma questão técnica específica referente à área de pesquisa como uma questão referente ao método científico. Um experimento complexo pode compreender uma seqüência de experimentos mais simples que abranja mais de um ciclo do método científico. Assim, a pesquisa de um fenômeno complexo pode demandar a identificação inicial dos efeitos de uma variedade de alterações de características das unidades da população objetivo. Nessa fase pode ser apropriado um experimento com vários fatores experimentais para testar diversas idéias sobre o funcionamento das unidades. Então, segue-se uma série de experimentos, em que as idéias iniciais vão sendo modificadas segundo indicações de resultados de etapas anteriores. Em cada uma dessas etapas, devem ser escolhidas as condições experimentais, particularmente os tratamentos, de modo a fornecer uma indicação tão direta quanto possível das relações causais de interesse.

No processo de escolha das condições experimentais, especialmente dos tratamentos, devem ser asseguradas propriedades importantes para as inferências. Uma propriedade particularmente importante é que os tratamentos difiram por atributos simples e identificáveis. Essa propriedade é relevante para garantir que qualquer diferença de resposta a tratamentos tenha interpretação única. A escolha de tratamentos que evite ambigüidade dessa sorte é um dos requisitos mais importantes e difíceis de implementar no planejamento do experimento.

De modo geral, o planejamento das condições experimentais compreende a seguinte seqüência de passos: 1) escolha dos fatores experimentais, 2) escolha dos níveis de cada um desses fatores, 3) escolha das combinações dos níveis e 4) escolha de tratamentos adicionais. Essa seqüência pode ser completa ou abreviada, conforme a complexidade do experimento. Em experimentos mais simples, com um único fator, os dois primeiros passos são suficientes.

As questões relevantes referentes às escolhas dos fatores experimentais e de seus respectivos níveis dizem respeito à escolha da variável para expressar cada fator na população objetivo, particularmente dos níveis dessa variável, à escolha dos níveis para a amostra e à possibilidade de controle pelo pesquisador da manifestação destes níveis. A última questão tem precedência sobre as demais e é tratada na **Seção 8.2**, já que ela diz respeito à propriedade relevante para pesquisa explicativa que é exclusiva do experimento. A escolha dos níveis para a amostra depende da escala de medida da variável que expressa o fator e pode determinar os mesmos níveis da população objetivo ou um subconjunto desses níveis. Essa escolha implica uma relação entre o conjunto dos níveis considerados na população objetivo e o conjunto dos níveis na amostra. Ela deve atender aos objetivos do experimento e tem implicações decisivas para os procedimentos de inferência estatística para a consecução desses objetivos. Por essa razão, na **Seção 8.3** é estabelecida uma classificação relevante de fator experimental quanto à escala de medida e à relação entre seus níveis na amostra e na população objetivo. A **Seção 8.4** trata da classificação dos fatores experimentais em duas categorias: fator fixo e fator aleatório, também de grande relevância por suas implicações para os procedimentos de inferência estatística.

Na seqüência são descritos os processos de escolhas dos fatores experimentais (**Seção 8.5**), dos níveis desses fatores (**Seção 8.6**) e das combinações de níveis para constituir as condições experimentais (**Seção 8.7**). Nesta última Sessão são caracterizadas as várias estruturas de condições experimentais distintas e típicas que podem resultar da escolha das combinações dos níveis.

A **Seção 8.8** ilustra delineamentos experimentais particulares em genética. O presente Capítulo é encerrado com uma breve introdução ao planejamento de tratamentos em experimentos seqüenciais (**Seção 8.9**).

8.2 Fator de Tratamento e Fator Intrínseco

Na **Seção 5.2**, foi estabelecida a classificação de fator experimental em duas categorias, segundo o grau de controle exercido pelo pesquisador sobre a manifestação de seus níveis na amostra: fator de tratamento e fator intrínseco. Essa classificação é relevante pelas conseqüências para a validade de inferências referentes a relações causais entre variáveis respostas e fatores experimentais. Por essa razão, retoma-se essa caracterização com vistas ao planejamento das condições experimentais, com ampla ilustração de situações reais.

As definições dos fatores experimentais para a amostra são as mesmas estabelecidas para a população objetivo. Entretanto, o conjunto dos níveis de um fator experimental na amostra pode ser o próprio conjunto dos níveis sob consideração na população objetivo ou um seu subconjunto apropriadamente escolhido para representá-lo. Em qualquer dessas duas situações, cada nível escolhido para a amostra deve ser o mesmo que lhe correspondente na população objetivo. Esse requerimento é particularmente relevante no que se refere à constituição de cada um desses níveis, ou seja, à composição de características de cada nível. Deve-se ter em conta que qualquer desvio entre as definições estabelecidas para os níveis de um fator experimental na população objetivo e os níveis correspondentes efetivamente aplicados ou manifestados na amostra é uma fonte do erro de amostragem (**Seção 2.2**). Ademais, a implementação ou manifestação não uniforme das condições experimentais nas unidades experimentais é uma fonte do erro experimental (**Seção 5.7**), que pode implicar tendenciosidade das estimativas do erro experimental e das diferenças de efeitos de condições experimentais.

8.2.1 Fator experimental de tratamento

A atribuição dos níveis de um fator de tratamento às unidades experimentais para esse fator deve ser determinada por um procedimento de casualização, ou seja, um processo apropriado de sorteio que garanta que todos esses tratamentos tenham a mesma chance de serem atribuídos a qualquer das unidades experimentais. A casualização assegura que os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis respostas se manifestem sem confundimento tendencioso com efeitos de características estranhas. O procedimento de casualização para um fator de tratamento depende da estrutura das condições experimentais, da estrutura das unidades e da relação entre essas duas estruturas que é definida no plano do experimento. Esse tema é abordado na **Seção 10.4**.

Os tratamentos podem ser aplicados de várias formas:

- de modo semelhante ou de modo diferente;
- simultaneamente ou em ocasiões diferentes;
- uma única vez ou mais de uma vez;
- em instantes, em intervalos ou durante todo o período experimental;
- no caso de aplicação uma única vez: antes, ou em um instante ou intervalo, ao início ou durante o período experimental;

- no caso de aplicação mais de uma vez: em diversos instantes ou intervalos durante todo o período experimental;
- no caso de aplicação em intervalos: em intervalos de mesma amplitude ou em intervalos de amplitudes diferentes.

Essas diversas formas alternativas de aplicação dos tratamentos e as considerações anteriores são ilustradas pelos exemplos que seguem, em cada um dos quais é indicado o fator experimental definido pelo objetivo do experimento, que é resumido pelo seu título, e são listados os tratamentos na amostra.

Exemplo 8.1

Experimento: "Comparação de cultivares de alface para cultivo em estufa plástica na entressafra, no Rio Grande do Sul"; fator experimental: cultivar; níveis na amostra: 1 - Kagraner, 2 - Regina, 3 - Great Lakes e 4 - Brisa.

Os tratamentos – as cultivares específicas - são aplicados às unidades experimentais de modo semelhante, simultaneamente e uma única vez, na semeadura, ou seja, ao início do período experimental. As cultivares são entes genéticos veiculados através da semente. Observe-se, entretanto, que a semente compreende, também, um conjunto considerável de características estranhas não relacionadas a cultivar, tais como características referentes à pureza, à sanidade e ao vigor. Os níveis nominais do fator experimental cultivar, isto é, os níveis desse fator definidos no plano do experimento, não podem ser atribuídos aleatoriamente a esse agregado de características estranhas da semente. O controle dessas características estranhas deve ser efetuado através de técnicas experimentais, para assegurar que os tratamentos aplicados na amostra sejam tão próximos quanto possível das cultivares sob consideração.

Exemplo 8.2

Experimento: "Eficácia de fungicidas no tratamento da semente de cebola"; fator experimental: fungicida; níveis na amostra: 1 - Dithane, 2 - Thylate, 3 - Phygon e 4 - controle (sem fungicida).

Os três primeiros níveis, ou seja, os fungicidas, são aplicados de modo semelhante, simultaneamente, uma única vez, na preparação da semente, previamente ao período experimental; o tratamento 4 corresponde à ausência de aplicação de fungicida. Os fungicidas são produtos químicos com composições específicas, definidas pelos fabricantes e devem ser aplicados com as características de qualidade apropriadas, de modo uniforme, nas correspondentes doses estabelecidas. O tratamento 4 é simplesmente a ausência de fungicida; portanto, as unidades experimentais às quais é assinalado esse tratamento de fato não recebem qualquer estímulo de fungicida.

Exemplo 8.3

Experimento: "Efeito da adubação foliar sobre a produção de uva da cultivar Itália"; fator experimental: época de adubação; níveis na amostra: 1 - folhagem plena, 2 - florescimento e 3 - 15 dias após o florescimento.

Os tratamentos – épocas de adubação foliar - são aplicados de modo diferenciado, uma única vez, mas em diferentes instantes do período experimental, conforme especificado nas correspondentes definições. A especificação completa do fator deve estabelecer a composição do adubo, o volume a aplicar e a forma de aplicação, enquanto que a definição completa dos tratamentos deve explicitar os critérios para a determinação precisa das épocas de aplicação. Este exemplo ilustra a situação em que a definição dos tratamentos estabelece critérios para a determinação do instante da aplicação dos tratamentos que dependem de avaliação e julgamento do pesquisador; no caso, critérios para a fixação dos estados de folhagem plena e de florescimento. Esses critérios devem ser especificados clara e explicitamente no plano do experimento, de modo que o julgamento do pesquisador se torne tão objetivo quanto possível.

Exemplo 8.4

Experimento: "Efeito da adubação com cloreto de potássio em cobertura sobre a produção de soja"; fator experimental: época de adubação; níveis na amostra: 1 - adubação na sementeira, 2 - 2/3 na sementeira e 1/3 em cobertura, 3 - 1/2 na sementeira e 1/2 em cobertura, 4 - 1/3 na sementeira e 2/3 em cobertura, e 5 - adubação em cobertura.

Os tratamentos – épocas de adubação foliar - correspondem à aplicação de uma mesma quantidade de uma substância (cloreto de potássio) em uma única vez, mas em dois instantes distintos (tratamentos 1 e 5), ou de modo parcelado, em mais de um instante (tratamentos 2, 3, e 4). A definição do fator requer a especificação do adubo, particularmente de sua composição em cloreto de potássio; a definição dos tratamentos deve ser completada com a descrição dos procedimentos para a aplicação do adubo e a fixação do instante da adubação em cobertura.

Exemplo 8.5

Experimento: "Efeito do uso de anabolizante em vacas de descarte no período de preparação para o abate"; fator experimental: anabolizante; níveis na amostra: 1 - implante de 4 doses com intervalos de 60 dias entre doses, 2 - implante de 3 doses com intervalos de 90 dias entre doses e 3 - controle (sem anabolizante).

Os tratamentos – anabolizantes - são aplicados de modo diferenciado, em diferentes instantes e com frequências diferentes. Nos tratamentos 1 e 2 o primeiro e o último implante são efetuados nas mesmas datas; os implantes intermediários são aplicados em instantes diferentes. A definição do fator experimental deve especificar o anabolizante e a correspondente dose. A definição dos tratamentos deve ser completada com o estabelecimento explícito do modo de implantação do anabolizante.

Exemplo 8.6

Experimento: "Influência do tempo de maceração sobre a cor e o sabor do arroz parbolizado"; fator experimental: tempo de maceração; níveis na amostra: 1 - 2 horas, 2 - 4 horas e 3 - 6 horas.

Os tratamentos – tempos de maceração – correspondem a diferentes amplitudes do intervalo de tempo de aplicação do processo de maceração. O processo de maceração é supostamente o mesmo em todos os tratamentos, exceto pela amplitude do tempo de sua execução, que é a característica que distingue os tratamentos. A definição do fator experimental deve descrever esse processo.

Exemplo 8.7

Experimento: "Efeito da substituição parcial do milho e do farelo de soja por casca de soja tostada na composição da ração sobre o desenvolvimento ponderal de suínos criados em confinamento"; fator experimental: ração; níveis na amostra: 1 - 0%, 2 - 10% e 3 - 20% de substituição.

Os tratamentos – rações - são aplicados de modo semelhante, durante todo o período experimental. A definição do fator subentende a homogeneidade da ração, exceto pela composição no que se refere aos ingredientes envolvidos com a substituição em consideração, e a uniformidade do procedimento de sua aplicação. Essa definição deve estabelecer a composição completa da ração e o modo de sua administração aos animais.

Em todos esses exemplos, os tratamentos devem ser assinalados às correspondentes unidades experimentais de modo aleatório, por procedimento de sorteio apropriado ao delineamento experimental escolhido (**Seção 10.4**).

Em alguns desses exemplos (**Exemplo 8.1**, **Exemplo 8.2**, **Exemplo 8.3** e **Exemplo 8.5**) os níveis do fator experimental na amostra são os mesmos sob consideração na população objetivo. Em outros (**Exemplo 8.6** e **Exemplo 8.7**) os níveis listados para a amostra são um subconjunto dos níveis da população objetivo. No **Exemplo 8.4** a relação entre o conjunto dos níveis na amostra e o conjunto dos níveis na população objetivo é

dúbia; se as inferências devem ser restritas às proporções estabelecidas para a amostra (ou seja, 1, 2/3, 1/2, 1/3 e 0 de adubação na sementeira, respectivamente para os níveis 1, 2, 3, 4 e 5), esses conjuntos de níveis são os mesmos. A relação entre o conjunto dos níveis na amostra e o conjunto sob consideração para inferências na população objetivo é uma propriedade que origina a classificação relevante de fator experimental que é considerada na **Seção 8.3**.

Esses exemplos (**Exemplo 8.1** a **Exemplo 8.7**) ilustram a situação mais usual em que o tratamento aplicado a cada unidade experimental é único, mesmo que a aplicação se repita em mais de um instante ou intervalo do período experimental. Em alguns experimentos, são aplicados dois ou mais tratamentos diferentes a cada unidade experimental básica (animal ou planta, ou grupo de animais ou de plantas, por exemplo), em diferentes instantes ou intervalos do período experimental. Nesse caso, cada uma dessas unidades básicas constitui uma unidade experimental distinta em cada um dos intervalos do período experimental em que recebe um tratamento diferente. Nesses experimentos, deve-se ter garantia de que os efeitos dos tratamentos aplicados em um intervalo não perdurem nos intervalos seguintes, ou adotar um modelo estatístico que leve apropriadamente em conta esses efeitos residuais.

8.2.2 Fator experimental intrínseco

O fator experimental intrínseco distingue-se do fator experimental de tratamento pela propriedade de que seus níveis são inerentes às unidades da amostra; são definidos pelas próprias unidades ou por um seu componente ou constituinte essencial. Dessa forma, os níveis de um fator experimental intrínseco não são passíveis de casualização, ou podem ser submetidos apenas a casualização essencialmente limitada ou parcial. Conseqüentemente, os efeitos de fatores intrínsecos sobre variáveis respostas podem ficar confundidos tendenciosamente de modo relevante com efeitos de características estranhas da amostra. Esse confundimento pode ser reduzido pelo controle de técnicas experimentais (**Seção 5.6.1**).

Uma característica inerente às unidades deve ser considerada um fator experimental intrínseco quando é de interesse particular ou quando há expectativa de que possa afetar de modo relevante os efeitos causais de fatores de tratamento sobre características respostas. Nessa última circunstância, pode não haver interesse em inferências referentes aos efeitos causais específicos ou diretos desse fator intrínseco, por não serem importantes ou já serem conhecidos.

As definições de um fator experimental intrínseco e de seus níveis na amostra devem ser claramente entendidas e estabelecidas no plano do experimento, de tal modo que se torne possível caracterizar a distinção entre as características da amostra que são inerentes ao fator experimental e as características que não são inerentes a esse fator, ou seja, que constituem a classe das características estranhas. Essas definições devem corresponder apropriadamente aos significados do fator e de seus níveis na população objetivo.

Essas considerações são ilustradas pelos exemplos que seguem (**Exemplo 8.8** a **Exemplo 8.10**).

Exemplo 8.8

Suponha-se que o experimento caracterizado no **Exemplo 8.7** é complementado com a consideração de animais machos e fêmeas. Embora não haja interesse no efeito direto de sexo, sexo deve ser considerado como fator experimental, por ser esperado que os efeitos das dietas possam variar com o sexo. Se os animais são acondicionados em boxes individuais, a unidade experimental para o fator sexo é o conjunto constituído pelas características explanatórias (ração e sexo) e pelas características estranhas relacionadas ao animal e ao boxe, incluindo as características referentes a instalações, ambiente, manejo, incidências de doenças, de pragas, etc. Nessas circunstâncias, o sexo é uma característica inerente ao animal; portanto, seus níveis –

macho e fêmeo - não podem ser atribuídos aleatoriamente aos animais. Entretanto, os animais e, portanto, os seus sexos, podem e devem ser assinalados aleatoriamente aos boxes. Todavia, como o animal compreende um conjunto de características estranhas relevantes, em geral, o fator experimental sexo deve ser considerado como fator intrínseco.

De fato, apenas algumas das características do animal podem ser identificadas como especificamente referentes a sexo (as características mais óbvias são as relacionadas com a reprodução); um conjunto considerável de características do animal não são relacionadas a sexo. Em geral, não há como distinguir entre a maioria das características do animal quais são especificamente inerentes a sexo e quais não têm relação com sexo. Por essa razão, na seleção dos animais para a constituição da amostra, geralmente é difícil ou impraticável exercer o controle eficaz de características estranhas do animal não relacionadas a sexo através de técnicas experimentais. Conseqüentemente, em geral, os efeitos do fator experimental sexo ficam confundidos tendenciosamente com os efeitos de uma parte relevante das características estranhas do animal.

Exemplo 8.9

No experimento do **Exemplo 8.7**, suponha-se que o peso corporal dos animais é mensurado a cada 14 dias do período experimental, com o objetivo de avaliar os efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento corporal até o abate. Então, uma estrutura apropriada desse experimento referente à variável resposta peso corporal considera os instantes de pesagens sucessivas no período experimental, espaçados de 14 dias, como os níveis na amostra de um fator experimental adicional, que pode ser designado de pesagem, avaliação ou idade. Esse fator experimental é um fator intrínseco, já que não há como atribuir aleatoriamente os instantes de pesagem a cada animal; esses instantes se sucedem na ordem cronológica imutável. Nessas circunstâncias, os efeitos atribuíveis ao fator experimental pesagem ficam confundidos tendenciosamente com os efeitos de características estranhas relacionadas com o tempo, tais como características ambientais, principalmente aquelas referentes a clima, estado da pastagem, incidências de doenças, parasitos, etc.

Exemplo 8.10

Suponha-se que, para lograr a representação da população objetivo pela amostra, o experimento do **Exemplo 8.7** é conduzido em uma granja de cada um de quatro locais e em cada um de três anos consecutivos, com diferentes animais. Nessas circunstâncias, pode não haver interesse nos efeitos diretos de local e ano. Entretanto, como os efeitos relativos das rações poderão variar entre locais e entre anos, local e ano devem ser considerados fatores experimentais. Esses dois fatores são características próprias das unidades, que não podem ser casualizadas. Logo, ambos são fatores experimentais intrínsecos.

As definições do fator experimental intrínseco "local" e, particularmente, de seus níveis são usualmente difíceis de estabelecer, mas devem ser determinadas de modo claro e inequívoco. Elas dependem do significado que se queira atribuir a local como fator experimental. Em geral, os níveis do fator experimental local são os locais distintos da região sob consideração na população objetivo, que constituem as unidades dessa população, que é usualmente uma população conceitual. Cada um desses locais compreende o conjunto das características permanentes do solo e do clima, que lhe são típicas. Pode compreender, também, características referentes a instalações, técnicas de cultivo ou manejo, incidências de doenças, pragas, etc., que sejam típicas do local. Como os níveis desse fator não podem ser atribuídos aleatoriamente às posições geográficas da região, os efeitos desse fator experimental ficam confundidos de modo tendencioso com efeitos de diferenças entre locais não atribuíveis a esse fator; essas diferenças são provenientes de variações entre os animais utilizados, instalações, técnicas de manejo, incidências de doenças, etc. que não são típicas dos locais. Esse confundimento pode

ser reduzido, até certo ponto, através de técnicas experimentais. Para tal, é imprescindível a definição explícita do fator experimental local e o estabelecimento claro de instruções referentes às técnicas que devem ser implementadas na condução do experimento.

A definição do fator experimental intrínseco "ano" não é tão complexa. Em geral, os níveis desse fator experimental intrínseco compreendem apenas as características climáticas permanentes típicas da região que variam ao longo dos anos. As demais características das unidades que variam entre os anos devem ser consideradas características estranhas, como, por exemplo, características referentes a manejo, alimentação e incidências de doenças, pragas, invasoras, etc. Não há como atribuir aleatoriamente os níveis do fator ano a esse conjunto de características estranhas. O confundimento tendencioso dos efeitos do fator experimental intrínseco ano com os efeitos devidos a este conjunto de características estranhas somente pode ser diminuído com o controle de técnicas experimentais.

É conveniente a distinção das seguintes categorias de fator experimental intrínseco:

- fator de estágio,
- fator de espaço,
- fator de tempo e
- fator de classificação.

Fator experimental intrínseco de estágio

Em algumas situações, o plano do experimento estabelece a mensuração de uma característica resposta sobre cada unidade experimental básica (identificada por um animal ou uma planta, ou um grupo de animais ou um grupo de plantas, por exemplo) em dois ou mais instantes do período experimental.

Um experimento com observações sucessivas de uma variável resposta sobre cada unidade experimental básica, coletadas em dois ou mais instantes do período experimental, é designado **experimento de observações** (ou **medidas**) **repetidas** para essa variável resposta.

Nessas circunstâncias, com a adoção do enfoque univariado, define-se um fator experimental cujos níveis na amostra são os instantes sucessivos de observação dessa variável resposta (**Seção 7.7**):

Um fator experimental intrínseco cujos níveis na amostra são os instantes sucessivos do período experimental em que se efetuam as observações de uma variável resposta, ou os intervalos de tempo sucessivos entre esses instantes, é um **fator experimental intrínseco de estágio**.

Os níveis de um fator intrínseco de estágio na amostra podem compreender, por exemplo, os anos, as estações, os meses, as safras ou as colheitas sucessivas, em que é observada uma variável resposta, tal como a produção de frutos, a produção de grãos e a produção de carne, sobre as mesmas unidades. Também podem ser intervalos ou estádios do ciclo de desenvolvimento de plantas ou de animais. As unidades experimentais para um fator de estágio são os intervalos do período experimental compreendidos entre cada dois instantes sucessivos de observação da variável resposta.

Em experimentos agrícolas com observações sucessivas sobre as unidades, muito freqüentemente é apropriado definir fatores experimentais de estágio. Uma ilustração é o fator pesagem ou avaliação do **Exemplo 8.9**. O **Exemplo 8.11** provê outras ilustrações de experimentos agrícolas com fator intrínseco de estágio.

Exemplo 8.11

Experimentos agrícolas para os quais a consideração de um fator intrínseco de estágio pode ser apropriada:

- a) experimentos de desenvolvimento ponderal de animais, em que são registrados dados de peso corporal de cada animal em vários instantes do período experimental;
- b) experimentos de crescimento de plantas perenes, em que são registrados dados de altura e diâmetro do tronco de cada planta em vários instantes de seu ciclo de desenvolvimento;
- c) experimentos com plantas frutíferas perenes, em que são avaliadas as produções de frutos de cada planta em diversas safras; e
- d) experimentos de fertilização do solo para o cultivo sucessivo de uma planta granífera, em que são efetuadas as pesagens das produções de grãos por parcela em um conjunto de anos sucessivos.

Uma abordagem alternativa é a adoção do enfoque multivariado, que considera as observações repetidas sobre as unidades como observações de variáveis respostas distintas e utiliza métodos multivariados (**Seção 7.7**).

Em um experimento pode-se ter uma ou mais variáveis repostas com observações repetidas e outras com observações simples, ou seja, observadas em um único instante do período experimental. Naturalmente, um fator experimental de estágio é definido apenas para variável resposta com observações repetidas. O **Exemplo 8.12** provê ilustrações de experimentos em que são consideradas variáveis respostas de observações repetidas e variáveis respostas de observações simples.

Exemplo 8.12

São exemplos de variáveis respostas de observações repetidas e variáveis respostas de observações simples consideradas em um mesmo experimento:

- a) peso corporal do animal em diversos instantes do período experimental, e variáveis que expressam características da carcaça, em um experimento de nutrição animal;
- b) produção de matéria seca em cortes parciais e produção de matéria seca total, em um experimento de fertilização do solo para cultivo de uma pastagem.

Em um experimento com observações repetidas, muito freqüentemente, é atribuído um único tratamento a cada unidade experimental básica, que é aplicado uma única vez ou mais de uma vez. Em algumas situações, experimentos de observações repetidas correspondem à aplicação de dois ou mais tratamentos distintos, em instantes ou intervalos sucessivos, sobre cada unidade experimental básica em cada uma das quais são efetuadas observações repetidas ao longo do período experimental.

Em alguns experimentos de observações repetidas apenas uma das observações é importante. Nessas circunstâncias não há razão para a definição de um fator de estágio e o experimento é de fato um **experimento de observações simples**. Essa também é a situação de experimentos em que são coletadas observações sobre cada unidade em instantes sucessivos, até que a unidade atinja um certo estado ou padrão de comportamento preestabelecido. Nesse caso, a variável resposta importante é a amplitude do intervalo de tempo para atingir esse estado ou padrão de comportamento, de modo que o experimento também é de observações simples.

Um experimento pode compreender mais de um fator experimental de estágio. Por exemplo, em um experimento de pastagem com forrageiras perenes ou semiperenes, pode ser apropriado definir um fator experimental de estágio para levar em conta os diversos cortes ou estações dentro de cada ano, e outro para levar em conta a variação entre anos.

Fatores experimentais intrínsecos de espaço e de tempo

Experimentos de ampla abrangência são repetidos no espaço, em duas ou mais posições geográficas (tais como locais, laboratórios, etc.), ou no tempo, em dois ou mais subintervalos de um intervalo de tempo (estações, anos, por exemplo), ou tanto no espaço como no tempo. Esse é o caso de experimentos tecnológicos cuja população objetivo abrange uma área geográfica ou intervalo de tempo considerável, ou ambos. Na primeira situação, se os efeitos atribuíveis à posição no espaço (locais, por exemplo) são de importância própria ou implicam influência relevante sobre a relação causal entre variáveis respostas e condições experimentais, é apropriado definir um fator experimental intrínseco para levar em conta a variação sistemática atribuível à posição no espaço. Os níveis desse fator intrínseco na amostra são as posições particulares onde o experimento é conduzido. Por razão semelhante, se os efeitos atribuíveis a tempo (anos, por exemplo) são importantes, o tempo deve ser considerado um fator experimental intrínseco para levar em consideração a variação sistemática ao longo do tempo. Os níveis desse fator experimental na amostra são os subintervalos sucessivos do intervalo de tempo (os anos de um conjunto de anos, por exemplo) em que o experimento é conduzido.

Um fator experimental cujos níveis são as posições ou locais de um espaço é um **fator experimental intrínseco de espaço**; um fator experimental cujos níveis são os subintervalos de um intervalo de tempo é um **fator experimental intrínseco de tempo**.

Outras considerações referentes a fatores experimentais intrínsecos de espaço e de tempo são feitas no **Exemplo 8.10**, que provê ilustrações desses fatores, e no parágrafo que segue esse Exemplo.

Fator experimental intrínseco de classificação

Muito freqüentemente, um fator experimental é uma característica inerente às unidades cujas alternativas não correspondem às disposições das unidades no espaço e no tempo.

Um fator experimental intrínseco que classifica as unidades experimentais em categorias correspondentes às alternativas de uma característica explanatória não relacionada com espaço e tempo é um **fator experimental intrínseco de classificação**.

Por exemplo, o fator sexo do **Exemplo 8.8**. Também são exemplos de fator experimental intrínseco de classificação, quando constituem fatores experimentais: raça, e estado sanitário do animal, no caso em que a unidade experimental é um animal, e vigor e nível de infecção da planta, no caso em que a unidade experimental é uma planta.

8.2.3 Fator de tratamento ou fator intrínseco?

Em geral, não há como discriminar a variação observada de uma variável resposta entre os níveis de um fator intrínseco que é atribuível propriamente ao fator experimental da variação entre esses níveis que é atribuível a características estranhas. Essas duas fontes de variação da variável resposta ficam inevitavelmente confundidas de modo tendencioso. Por outro lado, o pesquisador pode exercer acentuado controle de técnicas experimentais que assegure a aplicação dos níveis de um fator de tratamento essencialmente conforme a definição estabelecida no plano do experimento. Então, se os níveis desse fator experimental são atribuídos às correspondentes unidades experimentais por processo aleatório, o pesquisador pode ter elevada segurança de que os efeitos sobre a variável resposta das diferenças entre essas unidades que são atribuíveis a características estranhas são puramente aleatórios. Desse modo, a

incerteza resultante para inferências referentes a efeitos causais de fatores experimentais sobre a variável resposta pode ser avaliada objetivamente.

Para melhor compreensão dessa distinção fundamental entre fator experimental de tratamento e fator experimental intrínseco e de seu aspecto lógico, considere-se o **Exemplo 8.13** que discute novamente o experimento do **Exemplo 8.10**.

Exemplo 8.13

No experimento do **Exemplo 8.10**, que constitui uma extensão do experimento do **Exemplo 8.7**, local e ano são fatores experimentais intrínsecos. De fato, os locais são posições geográficas imutáveis inerentes às unidades; portanto os locais não podem ser atribuídos aleatoriamente a essas unidades. Dessa forma, se ocorrer variação considerável de peso dos animais entre os quatro locais, não haverá como distinguir, com base apenas na evidência provida pela amostra, se tal variação se deve a: a) diferenças entre os locais atribuíveis a características que, por definição, constituem o fator experimental local; ou b) diferenças sistemáticas entre os locais não atribuíveis a esse fator experimental, mas a características estranhas, tais como diferenças entre os conjuntos de animais utilizados nos quatro locais, diferenças de manejo dos animais, diferenças originadas de ocorrências de eventos climáticos atípicos, de doenças eventuais, etc. Semelhantemente, os anos são intervalos de tempo com disposição cronológica fixa que não pode ser sujeita à interferência do pesquisador e, portanto, não podem ser atribuídos aleatoriamente às unidades. Então, variações de observações de características respostas entre os três anos podem ser devidas a: a) diferenças atribuíveis a características que, por definição, constituem o fator experimental ano, ou seja, diferenças relacionadas com a variação do clima entre anos; ou b) diferenças sistemáticas entre os anos não relacionadas com o fator experimental ano decorrentes de diferenças de condições dos animais, de manejo, de ocorrências de eventos climáticos atípicos e de doenças eventuais, etc.

Suponha-se, entretanto, que seja possível atribuir os animais aos locais através de algum processo aleatório. Nessa circunstância, os efeitos do fator experimental local não estariam confundidos tendenciosamente com os efeitos de características estranhas da amostra referentes aos animais; as diferenças entre os locais atribuíveis a animais seriam meramente casuais. Entretanto, os efeitos do fator experimental local continuariam confundidos tendenciosamente com características estranhas não inerentes aos animais que se manifestam eventualmente de modo diferenciado entre os locais, tais como características referentes a manejo dos animais, clima, doenças, etc.

Por outro lado, se os níveis do fator experimental ração são essencialmente aqueles estabelecidos conceitualmente na definição desse fator experimental, a atribuição aleatória dos tratamentos aos animais assegura que os efeitos de diferenças entre os animais sobre os efeitos de rações sejam puramente aleatórios.

Deve ser ressaltado, entretanto, que realmente não há uma dicotomia nítida entre fator de tratamento e fator intrínseco. De fato, conforme exposto e ilustrado anteriormente, qualquer fator experimental, mesmo um fator de tratamento, sempre apresenta algum nível de confundimento com características estranhas. O grau desse confundimento depende da viabilidade do controle experimental e da habilidade do pesquisador para exercer esse controle. Outras ilustrações são providos pelo **Exemplo 8.14**.

Exemplo 8.14

a) Em um experimento com o fator de tratamento cultivar, os efeitos desse fator experimental, conceitualmente definido como um conjunto de características genéticas transmitidas, ou veiculadas, pela semente, ficam confundidos com os efeitos de características da semente não atribuíveis a cultivar, ou seja, características estranhas referentes à sanidade, pureza, vigor, etc. Se o pesquisador tem conhecimento que lhe permita distinguir essas duas classes de características, ele pode, através do controle de técnicas experimentais apropriado, minimizar a manifestação diferenciada dessas características estranhas na amostra.

b) Em um experimento de controle de uma infecção em animais, os efeitos do fator experimental antibiótico cujos níveis são definidos como diferentes substâncias com composições específicas ficam confundidos com efeitos de características estranhas que constituem o veículo do antibiótico; estes efeitos podem ter implicações para a pureza, o estado de conservação e outras propriedades referentes à qualidade do antibiótico.

c) Em um experimento de fertilização do solo com nitrogênio, os efeitos do fator experimental nitrogênio cujos níveis são definidos como doses particulares do elemento químico nitrogênio provido por uma fonte específica (uréia, por exemplo) confundem-se com os efeitos de variações referentes ao adubo não atribuíveis aos níveis definidos, tais como variações do estado dessa fonte, de sua composição em nitrogênio e da pesagem da uréia.

Em todas essas situações, o pesquisador pode e deve exercer o controle de técnicas experimentais que seja necessário para assegurar que os fatores se manifestem na amostra conforme as definições estabelecidas no plano do experimento. Entretanto, a avaliação dessa garantia será sempre subjetiva.

Entre os dois extremos, ou seja, fatores experimentais caracteristicamente de tratamento, como cultivar, antibiótico e nitrogênio, cuja manifestação nas unidades experimentais pode ser controlada pela escolha dos tratamentos e sua atribuição aleatória, e fatores experimentais eminentemente intrínsecos, como local e ano, cuja manifestação nas unidades experimentais é independente de qualquer controle pelo pesquisador, há fatores experimentais cuja manifestação é passível de controle pelo pesquisador apenas parcial. Esse é o caso do fator sexo do experimento do **Exemplo 8.8**.

Muito freqüentemente, a distinção entre fator de tratamento e fator intrínseco não é levada em conta na literatura e pelos pesquisadores. Entretanto, ela é muito importante no julgamento da validade de inferências derivadas do experimento.

Em algumas circunstâncias, uma característica explanatória pode ser opcionalmente definida como fator experimental de tratamento ou fator experimental intrínseco, segundo o plano escolhido para o experimento. Uma ilustração é provida pelo **Exemplo 8.15**.

Exemplo 8.15

Experimento: “Pesquisa da permanência no leite de resíduo de um antibiótico para o controle da mamite de vacas leiteiras”. O plano do experimento estabelece a administração do antibiótico a cada uma de oito vacas, de cada das quais será coletado leite a cada 24 horas após o instante da administração do antibiótico, ou seja, às 24, 48, 72, 96 e 120 horas após esse instante.

Nessas circunstâncias, o fator experimental tempo para a coleta é um fator experimental intrínseco (de estágio), já que seus níveis na amostra: 24, 48, 72, 96 e 120 horas, se manifestarão nas unidades experimentais necessariamente nesta ordem; portanto, a manifestação dos níveis desse fator na amostra não é passível de qualquer controle pelo pesquisador.

Suponha-se que o plano desse experimento seja alterado como segue: o antibiótico é aplicado a 40 vacas (em vez de 8 vacas) e os 5 níveis do fator experimental tempo para a coleta são atribuídos aleatoriamente às 40 vacas, de modo que cada nível resulte atribuído a 8 vacas. Com esse plano alternativo, o fator experimental tempo para coleta torna-se um fator experimental de tratamento.

As implicações de dois planos distintos para um mesmo experimento que decorrem da consideração alternativa de um fator experimental como fator de tratamento ou fator intrínseco, ilustrados no **Exemplo 8.15**, são fundamentais para as inferências derivadas do experimento. De fato, as estruturas decorrentes para o experimento são distintas, como será visto adiante.

Exercícios 8.1

1. Explique resumidamente, recorrendo a uma ilustração, a seqüência de passos do planejamento das condições experimentais.
2. Qual é a propriedade essencial que distingue fator de tratamento e fator intrínseco? Dê três exemplos de fator experimental de cada uma dessas duas classes.
3. Explique a razão da atribuição aleatória dos níveis de fatores de tratamento às unidades experimentais.
4. Explique porque, embora a atribuição dos tratamentos às unidades da amostra seja procedida sob o controle do pesquisador, por processo aleatório, efeitos de fatores de tratamento usualmente resultam confundidos com efeitos de características estranhas veiculadas juntamente com o fator experimental.
5. Dê exemplos de três fatores de tratamento com diferentes níveis de confundimento das características próprias do fator experimental com características estranhas veiculadas junto com a atribuição dos tratamentos.
6. Para cada um dos fatores de tratamento indicados na resposta ao exercício 5:
 - a) descreva as características próprias do fator experimental e as características estranhas que são veiculadas com a assinalação dos tratamentos às unidades experimentais;
 - b) explique as conseqüências da presença dessas características estranhas na amostra;
 - c) qual é o procedimento de controle experimental e quais são os recursos particulares desse procedimento que o pesquisador pode utilizar para evitar ou minimizar a veiculação dessas características estranhas juntamente com as características próprias do fator experimental?
7. Considere os experimentos caracterizados a seguir:
 - A - "Controle da verminose de cães com o uso de anti-helmínticos", com os seguintes tratamentos: 1 - Mebendazole, 2 - Praziquantel e 3 - Controle (sem vermífugo). O experimento será conduzido com animais machos e fêmeos de duas constituições raciais: puros e mestiços, em instalações do hospital veterinário da UFPEL, em um único ano.
 - B - "Efeito do calcário sobre a qualidade da semente de feijão", com as seguintes doses de calcário (em t/ha): 1 - 0; 2 - 2,0; 3 - 4,0; 4 - 6,0; 5 - 8,0, e duas cultivares: 1 - IAC-Carioca, 2 - EMGOPA 201-Ouro. O experimento será conduzido em um único local do município de Pelotas e em apenas um ano.
 - C - "Eficiência de fungicidas sistêmicos no tratamento da semente para o controle da brusone da folha do arroz", com os seguintes níveis do fator fungicida: 1 - Difenconazole, 2 - Fludioxonil, 3 - Thiabendazole e 4 - Controle, e duas cultivares: 1 - Rio Paranaíba, 2 - Guarani. O experimento será conduzido em três locais dos municípios de Pelotas, Rio Grande e Santa Vitória, em três anos consecutivos.
 - D - "Estudo da variabilidade da altura da planta das linhagens originadas do cruzamento das cultivares IAS 5 e BR 16", com 25 linhagens, supostamente constituindo uma amostra representativa das linhagens resultantes desse cruzamento. Experimento a ser conduzido em um único local do município de Pelotas e em um único ano.Para cada um desses experimentos:
 - a) enumere e denomine os fatores experimentais;
 - b) especifique os níveis desses fatores na população objetivo e na amostra;
 - c) classifique cada um desses fatores experimentais nas duas seguintes classes: fator de tratamento e fator intrínseco.
8. Ilustre com exemplos de sua área fator de tratamento cujos níveis são aplicados às unidades da amostra: a) ao início do período experimental; b) em um momento durante o período experimental; e c) ao longo do período experimental.
9. Forneça três exemplos de fator intrínseco. Para cada um desses fatores experimentais:

- a) descreva as características próprias do fator experimental e as características estranhas veiculadas junto com ele;
 - b) identifique quais dessas características estranhas são passíveis de controle de técnicas experimentais;
 - c) indique as características estranhas descritas no item a) que podem se manifestar independentemente de controle do pesquisador.
10. Explique o significado e ilustre as seguintes categorias de fator intrínseco: a) de estágio; b) de tempo; c) de espaço; d) de classificação.
11. Dê um exemplo de experimento com um fator de tratamento e um fator intrínseco de estágio.
- a) Porque esse experimento é denominado experimento de observações repetidas ou experimento de medidas repetidas?
 - b) Porque ele tem duas categorias de unidades experimentais?
 - c) Explique as origens dos erros experimentais para inferências referentes ao fator de tratamento e ao fator de estágio.
12. Considere o experimento "Efeito do retardamento da secagem da semente de sorgo sacarino sobre sua qualidade fisiológica", com cinco repetições de cada um dos seguintes níveis do fator experimental retardamento da secagem na amostra: 1- 0 h, 2 – 60 h, 3 – 120 h, 4 – 180 h e 5 - 240 horas.
- a) Especifique os níveis desse fator experimental na população objetivo.
 - b) Descreva um procedimento experimental que considere o fator retardamento da secagem como fator intrínseco de estágio.
 - c) Explique uma alteração desse procedimento que tornaria esse fator um fator de tratamento.

8.3 Classificação dos Fatores Experimentais

As definições de cada fator experimental e de seus níveis para a população objetivo e para a amostra devem ter em conta os objetivos do experimento e os recursos disponíveis. Essas definições têm implicações decisivas para as inferências que devem ser derivadas do experimento e, particularmente, para os procedimentos estatísticos para essas inferências. Assim, é de alta relevância a distinção das seguintes categorias de fator experimental, segundo a escala de medida da variável escolhida para expressar o fator e a relação entre seus níveis na amostra e na população objetivo:

- fator qualitativo específico,
- fator qualitativo ordenado,
- fator quantitativo,
- fator qualitativo amostrado e
- fator misto.

8.3.1 Fator qualitativo específico

Um fator experimental é um **fator qualitativo específico** se é expresso por uma variável nominal e seus níveis na amostra são o próprio conjunto dos níveis sob consideração na população objetivo

Portanto, não há qualquer relação de grandeza ou de ordem entre os níveis de um fator qualitativo específico. Cada um dos níveis é de interesse específico e se distingue qualitativamente dos demais. Logo, as inferências para a população objetivo restringem-se a esses níveis. Os seguintes exemplos são ilustrativos.

Exemplo 8.16

Experimento: "Comparação de cultivares de ervilha de porte baixo"; fator experimental: cultivar; níveis na amostra: 1 - Única, 2 - Profusion, 3 - Roi des Fins Verts, 4 - Early Harvest, 5 - Annonay e 6 - Fins des Gourmets.

O fator experimental cultivar é expresso por uma variável nominal com seis níveis - as seis cultivares de ervilha, ou seja, 1 - Única, 2 - Profusion, 3 - Roi des Fins Verts, 4 - Early Harvest, 5 - Annonay e 6 - Fins des Gourmets. Essas cultivares e apenas elas constituem os níveis do fator experimental sob consideração na população objetivo. Inferências da amostra para a população objetivo restringem-se a essas seis cultivares.

Exemplo 8.17

Experimento: "Avaliação do efeito da adição de antibiótico ao diluente do sêmen de touro sobre a taxa de concepção"; fator experimental: antibiótico; níveis na amostra: 1 - Sulfanilamida, 2 - Estreptomicina, 3 - Penicilina e 4 - controle (sem antibiótico).

O fator experimental antibiótico compreende quatro níveis na amostra: os três antibióticos: sulfanilamida, estreptomicina e penicilina, e um controle (ausência de antibiótico no diluente). A ausência de antibiótico é incluída como um nível do fator experimental para servir de termo de comparação para os três tratamentos com antibiótico (**Seção 8.6.4**). Inferências restringem-se a esses quatro níveis do fator antibiótico na amostra, que são os próprios níveis sob consideração na população objetivo.

Também são exemplos de fator qualitativo específico os fatores de tratamento cultivar e fungicida dos experimentos do **Exemplo 8.1** e do **Exemplo 8.2**, respectivamente. Outros exemplos de fator de tratamento qualitativo específico são providos pelo **Exemplo 8.18**.

Exemplo 8.18

São fatores de tratamento qualitativos específicos:

- a) droga para o tratamento de uma doença com níveis qualitativamente diferentes;
- b) poda e desbaste de uma planta frutífera com níveis constituídos por diferentes técnicas ou modos de poda e desbaste, respectivamente;
- c) herbicida, fungicida e inseticida com níveis constituídos por produtos que se distinguem qualitativamente, como é o caso quando os níveis diferem pelo princípio ativo ou pela composição química; e
- d) corte de uma forrageira e colheita de frutos de uma planta frutífera em que os níveis são intervalos de tempo ou datas não especificadas com precisão.

Fatores experimentais intrínsecos de classificação, como os fatores sexo (**Exemplo 8.8**) e raça, são freqüentemente fatores qualitativos específicos.

Observe-se que um fator experimental qualitativo específico não precisa ser expresso necessariamente por uma variável numérica; seus níveis podem ser símbolos ou rótulos, como, por exemplo, os eventuais nomes próprios que os designam.

Tendo em conta a relação com os objetivos do experimento e as implicações para os procedimentos de inferência estatística, é conveniente distinguir as seguintes duas categorias de fator qualitativo específico:

- fator qualitativo específico não estruturado e
- fator qualitativo específico estruturado.

Fator qualitativo específico não estruturado é o fator experimental qualitativo específico cujos níveis não se relacionam estruturalmente; **fator qualitativo específico estruturado** é aquele cujos níveis classificam-se em grupos naturais determinados pelos objetivos do experimento.

Essas duas categorias de fator qualitativo específico decorrem dos objetivos do experimento. Um fator experimental de tratamento é um fator qualitativo específico não estruturado quando as inferências de interesse compreendem todas as comparações dos tratamentos tomados dois a dois, ou seja, as comparações múltiplas de cada um dos tratamentos com cada um dos demais, com vistas à classificação dos tratamentos, em muitas situações para a determinação dos melhores tratamentos. Esse é o caso, por exemplo dos fatores cultivar do **Exemplo 8.1** e do **Exemplo 8.16**. No caso em que o fator qualitativo específico não estruturado é um fator experimental intrínseco, como o fator sexo do **Exemplo 8.8**, pode não haver interesse em inferências referentes ao próprio fator, mas em inferências referentes a sua interação com fatores experimentais principais (**Seção 8.2.2**).

Um fator qualitativo específico estruturado é geralmente um fator experimental de tratamento. Esse fator resulta quando as inferências de interesse constituem um conjunto de comparações entre grupos de tratamentos. Em algumas situações, esse conjunto de comparações compreende uma comparação entre dois grandes grupos dos tratamentos, seguida de uma comparação entre dois subgrupos dos tratamentos dentro de cada um desses grupos, e assim sucessivamente, até comparações individuais entre tratamentos. Desse modo, os tratamentos classificam-se em grupos, em subgrupos dentro desses grupos, etc., até grupos constituídos de um único tratamento. Nessas circunstâncias, os agrupamentos dos níveis do fator têm estrutura hierárquica ou aninhada.

Uma ilustração de fator qualitativo específico estruturado é provida pelo **Exemplo 8.19**.

Exemplo 8.19

Experimento: "Estudo da eficácia da utilização de acetato para a síntese do leite de cabra"; fator experimental: acetato; níveis na amostra: 1 - Prolactina 0,2 mg/kg de peso do animal, 2 - Dexametasona 0,2mg/kg, 3 - Prolactina 0,1mg/kg + Dexametasona 0,1mg/kg e 4 - Sem acetato (controle).

A estrutura de agrupamentos dos 4 tratamentos é implicada pelas seguintes comparações que, supostamente, constituem o objetivo do experimento:

1 - efeito do acetato, ou seja, com acetato (grupo 1 - tratamentos 1, 2 e 3) versus sem acetato (grupo 2 - tratamento 4),

2 - fontes de acetato isoladas (grupo 3 - tratamentos 1 e 2) versus fontes de acetato combinadas (grupo 4 - tratamento 3), e

3 - entre fontes de acetato, ou seja, Prolactina (grupo 5 - tratamento 1) versus Dexametasona (grupo 6 - tratamento 2).

Nesse caso, como em muitas situações de fator qualitativo específico estruturado, os tratamentos satisfazem uma estrutura de agrupamento hierárquica, representada no diagrama de árvore da **Figura 8.1**.

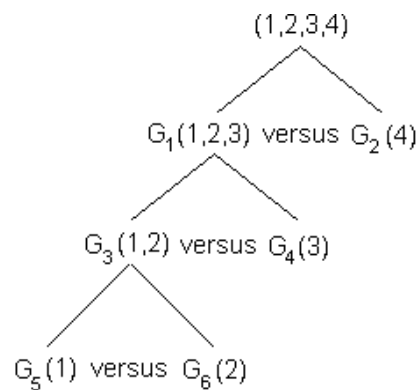


Figura 8.1. Diagrama de árvore da estrutura de agrupamentos hierárquica dos tratamentos do **Exemplo 8.19**.

Para outra ilustração de fator qualitativo específico estruturado considere-se o fator experimental antibiótico do **Exemplo 8.17**. Aparentemente, o objetivo do experimento em referência é a verificação da eficácia da adição de antibiótico ao diluente do sêmen. Essa verificação pode ser efetuada através de um dos dois seguintes procedimentos alternativos: a) comparação individual de cada um dos antibióticos com o tratamento controle; ou b) comparação global dos três antibióticos com o tratamento controle, seguida das comparações individuais entre os três antibióticos. Em qualquer desses casos, o tratamento controle tem o propósito de servir de referência ou termo de comparação para os demais tratamentos.

De modo geral, um fator de tratamento qualitativo específico em que um dos níveis é um tratamento controle ou testemunha (**Seção 8.6.4**) é um fator qualitativo específico estruturado com a forma mais simples de estrutura, se as comparações com o controle constituem um dos objetivos principais do experimento. Se todas as comparações entre os tratamentos são de igual importância, incluídas aquelas com o tratamento controle, o fator deve ser mais apropriadamente considerado como qualitativo específico não estruturado.

A seguinte observação é válida em geral: um fator qualitativo específico com níveis aparentemente estruturados é um fator qualitativo específico estruturado se a estrutura aparente decorre dos objetivos do experimento. Caso contrário, ou seja, se essa estrutura não é de interesse particular, mas apenas circunstancial, o fator deve ser mais apropriadamente considerado como qualitativo específico não estruturado. O **Exemplo 8.20** provê uma ilustração do fato de que a consideração de um fator experimental qualitativo específico como estruturado ou não estruturado depende do objetivo do experimento.

Exemplo 8.20

Considere-se o fator cultivar em um experimento de comparação de cultivares de trigo cujos níveis compreendem um subconjunto de cultivares de ciclo curto e um subconjunto de cultivares de ciclo longo. Esse fator será qualitativo específico estruturado se o objetivo do experimento for a comparação dos dois ciclos, seguida das comparações das cultivares dentro de cada um dos dois ciclos. Entretanto, se o objetivo compreender as comparações individuais de todas as cultivares, ou seja, as comparações de cada uma das cultivares com cada uma das demais, independentemente da amplitude de seus ciclos, o fator deve ser considerado qualitativo específico não estruturado.

8.3.2 Fator qualitativo ordenado

Um fator experimental é um **fator qualitativo ordenado** se é expresso por uma variável ordinal.

Os níveis de um fator qualitativo ordenado são intervalos de números reais ou valores numéricos não exatos, isto é, valores numéricos definidos vagamente. Dessa forma, eles têm uma relação de ordem, mas não de grandeza exata; ou seja, têm uma relação de grandeza definida de modo vago.

Exemplo 8.21

Experimento: “Época de plantio de morangueiro”; fator experimental: época de plantio; níveis na amostra: 1 - plantio cedo, 2 - plantio intermediário e 3 - plantio tardio.

Os níveis do fator época de plantio são subintervalos consecutivos de um intervalo do ano em consideração para o plantio do morangueiro. Eles apresentam uma relação de ordem, mas não podem ser expressos por uma variável quantitativa.

Exemplo 8.22

Experimento: “Efeito da idade de acasalamento sobre a fertilidade da ovelha matriz”; fator experimental: idade de acasalamento; níveis na amostra: 1 - dois dentes, 2 - quatro dentes, 3 - seis dentes, 4 - oito dentes e 5 - dez dentes.

Os níveis do fator idade de acasalamento expressam aproximadamente as idades de acasalamento (número de dentes $\approx 2 \times$ idade em anos). Por exemplo, acasalamento aos dois dentes, ou com 1 ano, não significa acasalamento exatamente ao surgirem os dois dentes, ou ao animal completar 12 meses; significa acasalamento em um intervalo de tempo em torno de 1 ano de idade ou do surgimento dos 2 dentes. O fator corresponde a uma característica quantitativa: idade, definida pelo número de dentes ou de anos; entretanto, seus níveis não são quantidades bem definidas.

Muito freqüentemente, um fator qualitativo ordenado é um fator intrínseco de classificação. Esse é o caso do fator idade de acasalamento do **Exemplo 8.22**. Outras ilustrações são dadas no **Exemplo 8.23**.

Exemplo 8.23

a) Em um experimento para pesquisa da eficácia de um antibiótico no controle de uma infecção de cordeiros em que são utilizados animais com diversos níveis de infecção que são classificados, segundo o grau de infecção, nas seguintes categorias: sem infecção, infecção leve, moderada, severa e muito severa, o fator experimental grau de infecção é um fator qualitativo ordenado.

b) Em um experimento de controle da mastite de vacas leiteiras, com animais de uma ampla gama de idades que são classificados em três níveis de idade: menos de 3 anos, entre 3 e 6 anos e mais de 6 anos, o fator experimental idade é um fator qualitativo ordenado.

Em geral, os níveis de um fator qualitativo ordenado na amostra são os mesmos sob consideração na população objetivo. Nessas circunstâncias, as inferências referentes a fator qualitativo ordenado restringem-se aos níveis na amostra. Portanto, no que diz respeito a inferências e particularmente aos procedimentos de análise estatística, fator qualitativo ordenado é geralmente tratado como fator qualitativo específico. Nessas circunstâncias, um fator experimental qualitativo ordenado não precisa ser expresso necessariamente por uma variável numérica; seus níveis podem ser símbolos ou rótulos, como, por exemplo, suas próprias designações.

Observe-se que, muito freqüentemente, o pesquisador tem escolha entre definir um fator como qualitativo ordenado ou como quantitativo. Nessa escolha, ele deve ter em

conta que com a primeira opção as inferências restringem-se aos níveis escolhidos para a amostra. Assim, no experimento do **Exemplo 8.21**, inferências referentes ao fator experimental época de plantio são restritas aos intervalos de tempo vagamente definidos que constituem os níveis do fator experimental na amostra. Se for desejável uma determinação mais precisa da melhor época de plantio, o fator experimental deve ser expresso por uma variável quantitativa, com níveis correspondendo a datas específicas. Então, o fator experimental se tornará quantitativo.

8.3.3 Fator quantitativo

Um **fator experimental quantitativo** é expresso por uma variável de escala intervalar ou racional, contínua ou discreta, definida em um intervalo.

Os níveis de um fator quantitativo sob consideração na população objetivo são o conjunto ou um subconjunto dos números reais de um intervalo cujos extremos definem a abrangência das inferências de interesse. Os níveis para a amostra são um subconjunto desse conjunto de níveis escolhido de modo mais ou menos arbitrário para permitir a estimação de uma função que exprima a relação entre a variável resposta e o fator experimental. A coleção dos níveis na amostra deve, necessariamente, incluir os extremos do intervalo de níveis definido para a população objetivo.

Assim, a escolha dos níveis de um fator quantitativo para a amostra requer a definição prévia do correspondente intervalo de níveis da população objetivo. Um ilustração é provida pelo **Exemplo 8.24**.

Exemplo 8.24

Experimento: "Controle de nematóides gastrintestinais através de anti-helmíntico sobre a produção de carne de ovelhas de descarte da raça Ideal"; fator experimental: anti-helmíntico HCG 8117; níveis na amostra: 1 - 0 mg/kg do animal, 2 - 1,5 mg/kg, 3 - 3,0 mg/kg e 4 - 4,5 mg/kg.

Os níveis na amostra, 0, 1,5, 3,0 e 4,5 mg/kg de peso do animal, são os extremos do intervalo de níveis sob consideração na população objetivo, ou seja, 0 e 4,5 mg/kg, e dois valores do interior desse intervalo (1,5 e 3,0 mg/kg), escolhidos arbitrariamente.

Também são exemplos de fator quantitativo os fatores experimentais época de adubação, tempo de maceração e ração (**Exemplo 8.4**, **Exemplo 8.6** e **Exemplo 8.7**, respectivamente) e tempo para a coleta (**Exemplo 8.15**).

Outras ilustrações de fator quantitativo são apresentadas no **Exemplo 8.25**.

Exemplo 8.25

São fatores quantitativos:

a) fertilizante, em um experimento de fertilização do solo para o cultivo da aveia em que os níveis na população objetivo são um intervalo de doses desse fertilizante e os níveis na amostra, um subconjunto de doses desse intervalo;

b) antibiótico, em um experimento de controle de uma infecção de cavalos em que os níveis na população objetivo são um intervalo de doses de um antibiótico e os níveis na amostra, um subconjunto desse intervalo de doses;

c) temperatura de conservação da semente, em um experimento de armazenamento de semente de sorgo cujos níveis na população objetivo são as temperaturas do intervalo [10°C; 30°C] e os níveis na amostra são as seguintes temperaturas, em graus Celsius: 10, 15, 20, 25 e 30;

d) idade do desmame, em um experimento de desmame de cordeiros cujos níveis na população objetivo são o intervalo de idades [30; 180 dias] e os níveis na amostra são as seguintes idades: 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias; e

e) tamanho da leitegada com a consideração do tamanho máximo de 13 leitões, em um experimento do efeito do tamanho da leitegada sobre o desenvolvimento do leitão em que os níveis na população objetivo são o conjunto dos números inteiros {1, 2, 3,..., 13} e os níveis na amostra são o subconjunto {1, 5, 9, 13}.

Os níveis de um fator quantitativo na amostra não são de interesse específico. O interesse reside no conjunto dos níveis da população objetivo, ou melhor, em inferências referentes à relação causal entre a variável resposta e o fator experimental nesse intervalo de níveis; por exemplo, inferências referentes à relação causal entre produção e quantidade de fertilizante aplicada ao solo em um intervalo de doses sob consideração na população objetivo. A função que exprime uma tal relação é denominada **função de resposta**, e a curva que a representa geometricamente, **curva de resposta**. A suposição básica é a existência de uma relação particular na população objetivo que é desconhecida; o pesquisador postula uma forma da relação com base teórica ou empírica, e executa o experimento com o objetivo de verificar essa hipótese e obter uma aproximação apropriada para a expressão da relação na população objetivo, muitas vezes para propósito de predição.

Há duas fontes de incerteza na aproximação ou estimação de uma função ou curva de resposta a partir de uma amostra provida por um experimento. Uma é a variação estranha não controlada; a outra decorre do fato de que as observações são obtidas apenas para um número limitado de níveis do fator experimental, que são selecionados de um conjunto muito maior (muito freqüentemente um intervalo) para o qual é desejado derivar inferências. Nessas circunstâncias, a escolha apropriada dos níveis do fator experimental para a amostra tem importância fundamental para a confiabilidade dessas inferências.

A distinção entre fator qualitativo específico, fator qualitativo ordenado e fator quantitativo é relevante para o plano do experimento e, conseqüentemente, para as inferências derivadas do experimento. Assim, conforme salientado no último parágrafo da **Seção 8.3.2**, quando o pesquisador tem opção para a escolha da categoria para um fator experimental e de seus níveis, ele deve decidir tendo em conta o fator em consideração na população objetivo e as conseqüências para as inferências para a população objetivo. Por exemplo, para um fator quantitativo com dois níveis, usualmente não pode ser obtida uma estimação da forma detalhada da curva de resposta, a não ser que ela seja linear. Apenas a diferença entre as respostas nos dois níveis pode ser estimada. Portanto, nesse caso, inferências são restritas aos dois níveis na amostra, ou seja, o fator é considerado como se fosse qualitativo.

8.3.4 Fator misto

Em algumas situações, os objetivos do experimento implicam a definição de um fator com níveis que se relacionam tanto qualitativamente quanto quantitativamente.

Um **fator experimental misto** compreende dois ou mais subconjuntos de níveis que se relacionam qualitativamente e pelo menos um desses subconjuntos compreende níveis de um fator quantitativo.

Um fator experimental misto é de fato a agregação de dois ou mais subconjuntos de níveis, um dos quais pode ser constituído de um ou mais tratamentos controles e os demais, de níveis que se relacionam quantitativamente.

Um fator experimental misto resulta quando o experimento tem como objetivo a derivação de inferências sobre esse fator referentes a: a) comparações de grupos de

níveis que se relacionam qualitativamente, e b) relação causal entre a variável resposta e o subconjunto dos níveis de cada um desses grupos, separadamente para cada grupo.

Exemplo 8.26

Experimento: "Controle de invasoras em milho com herbicida pré-emergente"; fator experimental: herbicida; níveis na amostra: 1 - Gesaprin 50 2 kg/ha, 2 - Gesaprin 50 4 kg/ha, 3 - Gesaprin 50 6 kg/ha, 4 - sem herbicida e 5 - capina ao florescimento.

Os níveis desse fator na amostra compreendem a reunião de dois subconjuntos de níveis: o primeiro constituído pelas doses 0, 2, 4 e 6 kg/ha do herbicida Gesaprin 50 (tratamentos 4, 1, 2 e 3), que se relacionam quantitativamente, e o outro por um nível isolado: capina ao florescimento. Esses dois subconjuntos de níveis se relacionam qualitativamente. Supostamente, os níveis sob consideração na população objetivo são a correspondente reunião dos dois seguintes subconjuntos de níveis: doses de Gesaprin 50 do intervalo [0; 6 kg/ha] e capina ao florescimento.

Exemplo 8.27

Experimento: "Efeito de bioestimulantes sobre a produção de arroz irrigado"; fator experimental: bioestimulante; níveis na amostra: 1 - Agrostemin 100 g/ha, 2 - Agrostemin 175 g/ha, 3 - Agrostemin 250 g/ha, 4 - Ergostin 400 cc/ha, 5 - Ergostin 500 cc/ha, 6 - Ergostin 600 cc/ha e 7 - sem bioestimulante.

O conjunto dos níveis do fator experimental bioestimulante na amostra é a reunião de três subconjuntos de níveis: o primeiro subconjunto é constituído por doses do bioestimulante Agrostemin (tratamentos 1, 2 e 3), o segundo por doses do bioestimulante Ergostin (tratamentos 4, 5 e 6), e o terceiro subconjunto é constituído de um nível isolado – sem bioestimulante. Os níveis de cada um dos dois primeiros subconjuntos de níveis relacionam-se quantitativamente. Os três subconjuntos de níveis relacionam-se qualitativamente. Supostamente, o conjunto dos níveis na população objetivo compreende a reunião das doses de Agrostemin do intervalo [100; 250 g/ha], com as doses de Ergostin do intervalo [400; 600 cc/ha] e o tratamento sem bioestimulante.

8.3.5 Fator qualitativo amostrado

Um **fator experimental qualitativo amostrado** é um fator experimental cujos níveis da amostra são escolhidos por um processo supostamente aleatório, para representar a coleção dos níveis da população objetivo.

Muito freqüentemente, a coleção dos níveis desse fator na população objetivo é uma coleção conceitual. Os níveis presentes na amostra são aqueles manifestados nas unidades dessa amostra que são escolhidas entre as unidades da população objetivo que são acessíveis. Nessas circunstâncias, o processo de escolha aleatória é, em geral, apenas uma suposição necessária. Como conseqüência, a validade (não tendenciosidade) das inferências é comumente questionável; ela é relativa à representatividade lograda pela amostra sobre a qual o experimento é conduzido.

Esse fator é usualmente expresso por uma variável de escala nominal. Os níveis utilizados na amostra não são de interesse específico. O interesse reside na coleção dos níveis da população objetivo, ou melhor, em inferências referentes a alguma propriedade da variável resposta (variabilidade, muito freqüentemente) a partir das respostas observadas para os níveis na amostra.

Exemplo 8.28

Experimento: "Pesquisa da variabilidade da qualidade da semente de soja produzida no Rio Grande do Sul"; fator experimental: procedência da semente; níveis na população objetivo: procedências (ou unidades de produção) de semente de soja deste Estado; níveis na amostra: procedências particulares escolhidas com o propósito de lograr uma representação das procedências da população objetivo.

A coleção dos níveis na população objetivo é constituída pelas procedências que terão existência em um determinado intervalo de anos a partir do encerramento da pesquisa; portanto, é uma coleção conceitual. As procedências que constituem a amostra são escolhidas arbitrariamente entre as procedências disponíveis no momento do planejamento da pesquisa de modo a lograr a melhor representação possível da população objetivo. Evidentemente, esse não é um processo de escolha aleatório. Nessas circunstâncias, a validade das inferências para a população objetivo depende da proximidade entre a população amostrada (ou seja, coleção de procedências supostamente representada pelas procedências na amostra) e a população objetivo.

Para ilustrar a distinção essencial entre fator qualitativo amostrado e fator qualitativo específico, considere-se uma variação do objetivo do experimento do **Exemplo 8.28** que agora consiste em comparar um conjunto particular de procedências de semente de soja quanto a características referentes à qualidade da semente. Nessas circunstâncias, essas procedências particulares são de interesse específico. Então, esse conjunto particular de procedências constitui a coleção dos níveis do fator experimental procedência da semente na população objetivo que é a mesma coleção dos níveis desse fator na amostra. Portanto, agora o fator experimental procedência da semente é qualitativo específico.

Fatores qualitativos amostrados são muito freqüentemente fatores intrínsecos de espaço ou de tempo. Os fatores experimentais local e ano do experimento do **Exemplo 8.10** são ilustrações particulares. Em geral, os níveis na população objetivo de um fator experimental qualitativo amostrado designado de local, ou seja, os locais que constituem os níveis desse fator, são as lavouras, as fazendas, as instalações, ou os laboratórios, por exemplo, que terão existência em uma região em um intervalo de anos no futuro; os níveis desse fator experimental na amostra são um subconjunto desses locais sobre os quais o experimento é conduzido. Por outro lado, os níveis na população objetivo de um fator experimental designado de ano são um conjunto de anos de um certo intervalo de anos no futuro; esses anos podem ser mais especificamente safras, colheitas ou cortes, por exemplo; os níveis desse fator experimental na amostra são os anos particulares de condução do experimento. Na maioria das situações, os fatores experimentais local e ano são considerados fatores qualitativos amostrados por não haver interesse nos locais e anos particulares em que o experimento é conduzido, mas em um conjunto de locais e anos da população objetivo que os locais e anos particulares da amostra supostamente representam. Entretanto, a escolha dos anos para a amostra não pode ser procedida aleatoriamente, já que os anos dispõem-se em uma seqüência cronológica imutável e o experimento tem que ser conduzido em um subconjunto de anos próximos. A escolha aleatória dos locais para a amostra também é usualmente inviável, porque a coleção dos locais na população objetivo é uma coleção conceitual. Essas circunstâncias originam a incerteza da suposição de que as respectivas coleções que os locais e os anos da amostra representam sejam equivalentes àquelas para as quais é desejado derivar inferências. Inferências referentes a esses fatores experimentais devem ser efetuadas com cautela. O procedimento apropriado é a descrição clara das características relevantes dos locais e anos de condução do experimento, para a adequada caracterização das condições para as quais as inferências são válidas.

Fatores qualitativos amostrados também podem ser fatores de tratamento. Por exemplo, o fator linhagem em um experimento com o propósito de derivar inferências referentes à variância populacional de alguma característica das linhagens resultantes do cruzamento de duas variedades de arroz, tais como altura da planta e número de afilhos; e o fator reprodutor em um experimento para inferências referentes a alguma característica dos reprodutores de uma raça.

O que caracteriza um fator qualitativo amostrado quando fator intrínseco é o fato de que é desejado que inferências referentes a outros fatores experimentais sejam aplicáveis não apenas para os níveis daquele fator na amostra (as procedências, os anos e os locais específicos de condução do experimento, nos exemplos anteriores), mas para

os níveis na população objetivo, e que a incerteza envolvida nessa extensão seja avaliada.

Reitere-se que a caracterização de um fator experimental e sua classificação em uma dessas cinco classes decorre da definição do fator que é implicada pelo seu significado e pelos objetivos do experimento. Conseqüentemente, a distinção entre essas classes de fator experimental é relevante para a determinação dos procedimentos de inferência estatística apropriados para a consecução dos objetivos do experimento. É especialmente importante a distinção entre fator qualitativo amostrado de um lado e fatores qualitativo específico, qualitativo ordenado, quantitativo e misto de outro lado, pelas conseqüências que decorrem para as pressuposições associadas com o modelo estatístico que fundamenta os procedimentos de análise estatística. A distinção essencial origina-se da circunstância de que os níveis de um fator qualitativo amostrado são supostos uma amostra aleatória da coleção dos níveis do fator na população objetivo. Portanto, esses níveis são realizações (isto é, valores observados) de uma variável aleatória com uma distribuição de probabilidade hipotética, enquanto que os níveis de um fator qualitativo específico, qualitativo ordenado, quantitativo ou misto são valores particulares escolhidos aleatoriamente, ou seja, constantes.

8.4 Fator Fixo e Fator Aleatório

A caracterização adequada do fator experimental tem importância fundamental por sua implicação para as inferências que serão derivadas do experimento, particularmente quanto ao âmbito da validade das inferências referentes ao fator. No caso de fator qualitativo específico e fator qualitativo ordenado, as inferências limitam-se aos níveis incluídos na amostra, enquanto que para fator qualitativo amostrado estendem-se à população dos níveis da qual os níveis incluídos na amostra constituem, supostamente, uma amostra aleatória. Para fator quantitativo, as inferências devem estender-se ao intervalo dos níveis da população objetivo. Neste caso, entretanto, os níveis incluídos na amostra são valores particulares do intervalo dos níveis da população objetivo, que são escolhidos arbitrariamente para servir de pontos de referência em um processo de inferência por interpolação.

Assim, o processo de escolha para a amostra dos níveis de fator qualitativo específico, fator qualitativo ordenado, fator quantitativo e fator misto é caracteristicamente distinto do processo de escolha dos níveis de fator qualitativo amostrado. Para os primeiros, o processo de escolha é subjetivo e arbitrário, estabelecendo níveis particulares, ou seja, níveis fixos, para inclusão na amostra, enquanto que para o último o processo de escolha é supostamente aleatório, gerando níveis que constituem realizações de uma variável aleatória com certa distribuição de probabilidade. Por essa razão, fator qualitativo específico, fator qualitativo ordenado, fator quantitativo e fator misto são denominados fatores fixos, e fator qualitativo amostrado, fator aleatório:

Um fator experimental é um **fator fixo** se a coleção de seus níveis na amostra é a própria coleção dos níveis da população objetivo, ou um subconjunto dessa coleção de níveis escolhido arbitrariamente; um fator experimental é um **fator aleatório** se seus níveis na amostra são uma amostra aleatória da coleção dos níveis da população objetivo.

A caracterização do fator experimental e sua conseqüente classificação como fixo ou aleatório é determinada pelo procedimento de escolha dos níveis do fator para amostra que deve ser conseqüente dos objetivos do experimento. Em muitas situações, essa classificação do fator é clara e segue imediatamente dos objetivos do experimento. Esse é o caso, por exemplo, dos fatores experimentais variedade, inseticida, antibiótico,

raça e sexo, quando os níveis considerados no experimento são os únicos de interesse, por se tratarem dos mais promissores ou dos únicos de existência real. Claramente, esses fatores são qualitativos específicos; logo, são fatores fixos. Em algumas situações, entretanto, a classificação do fator experimental não é tão óbvia, em decorrência da impossibilidade de escolha aleatória dos níveis de um fator amostrado. O **Exemplo 8.29** ilustra níveis de dificuldade diferentes para classificação de fator experimental como fixo ou aleatório e o argumento para a distinção entre essas duas classes de fator experimental.

Exemplo 8.29

a) Considere-se o experimento de comparação de quatro cultivares de alface do **Exemplo 8.1**. As inferências de interesse restringem-se às quatro cultivares incluídas na amostra; não há qualquer consideração referente a outras cultivares. Ademais, se fossem consideradas novas repetições do experimento sob as mesmas circunstâncias, as mesmas cultivares seriam utilizadas. Portanto, o fator experimental cultivar é fixo.

b) Seja um experimento para pesquisa do efeito da nutrição e da habilidade materna de porcas de uma linhagem particular, expressa pelo peso dos leitões de leitegadas de 28 dias, com seis animais de uma leitegada de cada uma de dez porcas. Nesse experimento não há interesse específico nessas dez porcas, que constituem os níveis na amostra do fator experimental porca. Elas são apenas uma amostra da população de porcas da linhagem sob consideração. O processo de seleção das porcas para a amostra é tal que, se fossem consideradas novas repetições do experimento, o pesquisador não se restringiria à utilização das mesmas dez porcas; em cada ocasião, consideraria a tomada de nova amostra de dez porcas da linhagem. Logo, o fator experimental é aleatório.

c) Considerações semelhantes se aplicam ao fator experimental lote de sementes em um experimento para pesquisa da variação do vigor da semente de cultivares de sorgo com a amplitude do período de armazenamento; e para o fator experimental partida de latas de pêssego em calda de diversas cultivares de um experimento para avaliar características referentes à qualidade da compota. Esses fatores experimentais são aleatórios.

O **Exemplo 8.29** ilustra o argumento para a distinção entre fator fixo e fator aleatório baseado no âmbito das inferências de interesse e no processo de escolha dos níveis do fator, caso fossem efetuadas novas repetições do experimento. Em situações dúbias, esse argumento pode constituir um critério objetivo útil para classificar apropriadamente um fator experimental como fixo ou aleatório:

- o fator experimental é fixo se as inferências de interesse se restringem aos níveis do fator presentes na amostra e se seriam escolhidos esses mesmos níveis para a amostra caso fossem consideradas novas repetições do experimento;
- o fator experimental é aleatório se as inferências devem estender-se a uma coleção de níveis numerosa e se em cada nova repetição do experimento seria escolhida uma nova amostra de níveis desse fator.

As inferências de interesse distinguem-se fundamentalmente para fator fixo e fator aleatório. Para fator fixo, essas inferências correspondem à estimação e testes de hipóteses referentes às médias dos níveis do fator experimental na população objetivo. Por exemplo, estimação e comparações das médias populacionais do peso da produção de grãos de um conjunto de cultivares de interesse específico em um experimento de comparação de cultivares de sorgo. Para fator aleatório, tais inferências não têm sentido; o interesse reside na estimação e em testes de hipóteses referentes à variabilidade da resposta entre os níveis do fator na população objetivo; por exemplo, estimação da variabilidade do peso da produção de grãos atribuível ao fator experimental local nesse mesmo experimento. Os procedimentos estatísticos para essas duas classes de problemas são caracteristicamente distintos.

Exercícios 8.2

1. Liste as classes de fatores experimentais segundo a escala de medida e o processo de seleção dos níveis da população objetivo para constituir a amostra.
2. Caracterize fator qualitativo específico quanto às duas propriedades referidas no exercício 1. Quais são as implicações dessas propriedades desse fator para as inferências derivadas para a população objetivo?
3. Explique e ilustre a distinção entre fator qualitativo específico estruturado e fator qualitativo específico não estruturado.
4. Explique como pode originar-se um fator qualitativo específico estruturado em um experimento.
5. Dê um exemplo de fator qualitativo ordenado e explique sua distinção de fator qualitativo específico quanto às duas propriedades referidas no exercício 1.
6. Qual é a distinção essencial entre fator quantitativo e fator qualitativo ordenado? Quais são as implicações dessa distinção para as inferências derivadas para a população objetivo?
7. Caracterize fator fixo e fator aleatório quanto ao processo de escolha dos níveis para a amostra.
8. Qual é a distinção essencial entre as duas classes de fator experimental caracterizadas no exercício 7 quanto às inferências de interesse?
9. Classifique fator experimental qualitativo específico, qualitativo ordenado, quantitativo, misto e amostrado nas duas classes referidas no exercício 7.
10. Considere os experimentos caracterizados no exercício 7 dos **Exercícios 8.1**.
 - a) Classifique os fatores experimentais de cada um desses experimentos nas diversas classes listadas no exercício 1;
 - b) classifique esses mesmos fatores experimentais segundo as duas seguintes classes: fator fixo e fator aleatório;
 - c) entre esses fatores experimentais identifique os fatores principais e os secundários.
11. Considere os seguintes experimentos cujos fatores na amostra relacionados diretamente aos correspondentes objetivos principais e respectivos níveis são indicados:
 - A - "Controle de invasoras de arroz irrigado com o uso de herbicidas"; fator experimental: herbicida; níveis na amostra: 1 - Molinate, 2 - Benthocarb, 3 - Propanill, 4 - Dinoseb, 5 - Pendimethalin e 6 - sem herbicida.
 - B - "Comparação de cultivares de feijoeiro"; fator experimental: Cultivar; níveis na amostra: 1 - Carioca, 2 - Macanudo, 3 - Pampa, 4 - Rio Tibagi, 5 - Irai.
 - C - "Eficácia de diluentes no descongelamento de sêmen de touros da raça Ibagé"; fator experimental: Diluente sintético "Beltsville thawing solution" (BTS); níveis na amostra: 1 - 80% de BTS, 2 - 60% de BTS, 3 - 40% de BTS e 4 - 20% de BTS.
 - D - "Efeito de bioestimulantes sobre a produção de arroz irrigado"; fator experimental: Bioestimulante; níveis na amostra: 1 - Agrostemin 100g/ha, 2 - Ergostin 500cc/ha, 3 - Agrostemin 50g/ha + Ergostin 250 cc/ha e 4 - sem bioestimulante.
 - E - "Efeito da adubação foliar sobre a produção de uva da cultivar Itália"; fator experimental: Época de adubação; níveis na amostra: 1 - folhagem plena, 2 - florescimento e 3 - 15 dias após o florescimento.
 - F - "Efeito do ácido indol-butírico sobre o enraizamento de estacas de kiwi"; fator experimental: Ácido indol-butírico (AIB); níveis na amostra: 1 - 0 ppm de AIB; 2 - 1000 ppm de AIB e 3 - 3000 ppm de AIB.
 - G - "Controle de ciperáceas na cultura do arroz irrigado"; fator experimental: Herbicida; níveis na amostra: 1 - Pirozosulfuron-etil 15 ml/ha, 2 - Pirozosulfuron-etil 25 ml/ha, 3 - Pirozosulfuron-etil 35 ml/ha, 4 - Bentazon 600 ml/ha, 5 - Bentazon 900 ml/ha, 6 - Bentazon 1200 ml/ha, 7 - sem herbicida.

- a) Classifique esses fatores experimentais segundo as seguintes classes: 1 - fator qualitativo específico não estruturado, 2 - fator qualitativo específico estruturado, 3 - fator qualitativo ordenado, 4 - fator quantitativo, 5 - fator misto e 6 - fator qualitativo amostrado.
- b) Classifique os mesmos fatores nas duas seguintes categorias: 1 - fator fixo, 2 - fator aleatório.
12. Classifique os fatores experimentais caracterizados nos experimentos dos exemplos da **Seção 5.9** nas categorias correspondentes aos dois critérios de classificação especificados nos itens a) e b) do exercício 11.

8.5 Escolha dos Fatores Experimentais

Os fatores experimentais da população objetivo e da amostra são os mesmos. A escolha e as definições desses fatores devem decorrer, essencialmente, da natureza do problema científico e da hipótese correspondente, que constituem o objetivo do experimento. Elas também devem ser guiadas por considerações referentes a disponibilidade de recursos, simplicidade e economia. Em alguns experimentos a escolha é imediatamente derivada dos objetivos do experimento. Em experimentos mais complexos, entretanto, a escolha pode não ser tão simples.

Como regra geral, é usualmente recomendável que, na consideração inicial de um experimento, o pesquisador elabore uma lista dos fatores que espera possam ser relevantes, mesmo que em uma avaliação ulterior alguns deles tenham que ser preteridos para futuros experimentos. Em algumas pesquisas, particularmente em etapas preliminares, o número de fatores identificados como de importância potencial é muito maior do que o número que pode ser considerado em um único experimento. Em tais circunstâncias, deve ser adotada uma definição menos ambiciosa para os objetivos do experimento.

Em geral, podem-se distinguir duas classes de fatores experimentais: fatores principais e fatores secundários ou suplementares.

Os **fatores experimentais principais** são características explanatórias relacionadas diretamente com o objetivo do experimento e que usualmente são definidos explicitamente pela hipótese científica. Os **fatores experimentais secundários** ou **suplementares** são características relevantes do material experimental, tais como características que possam afetar o efeito causal dos fatores experimentais principais sobre características respostas ou que são inseridas para lograr a representação apropriada da população objetivo.

Fatores experimentais principais são muito freqüentemente fatores de tratamento; fatores experimentais secundários são fatores de tratamentos ou fatores intrínsecos.

Em geral, há uma hierarquia de importância dos fatores experimentais. Os mais importantes são claramente definidos pela hipótese científica; esses são os fatores experimentais principais, que necessariamente devem ser considerados no experimento. Os menos importantes podem ser desejáveis, mas não absolutamente necessários. No processo de especificação dos fatores experimentais para um experimento particular pode ser conveniente considerar a seguinte classificação dos fatores experimentais que podem ocorrer em um experimento:

- Fatores de tratamento:
 - a) características relacionadas diretamente com os objetivos do experimento, que constituem os fatores experimentais principais;
 - b) características que podem modificar a ação de fatores experimentais principais ou podem esclarecer a origem dos efeitos desses fatores;

c) características relacionadas com técnicas experimentais que podem afetar efeitos de fatores experimentais principais.

- Fatores intrínsecos:

d) características que representam agrupamentos físicos ou classificações importantes das unidades de observação que podem afetar os efeitos de fatores experimentais de tratamento, tais como idade, sexo, local, ano e ambiente;

e) características cujos níveis são escolhidos e inseridos deliberadamente no material experimental com o propósito de examinar interações e estender a amplitude de validade das inferências referentes aos fatores experimentais principais para lograr a representação apropriada da população objetivo.

Fatores experimentais da classe a) são fatores experimentais principais, enquanto, geralmente, fatores experimentais das demais classes são fatores experimentais secundários ou suplementares.

Observe-se que uma característica relevante relacionada com técnica experimental ou com agrupamento físico importante das unidades de observação deve ser considerada como um fator experimental da classe c) ou da classe d), se for esperado que ela interaja de modo relevante com algum fator experimental principal, ou seja, um fator da classe a). Caso contrário, ela deve ser considerada mais apropriadamente para controle experimental, através de controle local ou de controle estatístico (**Seções 9.5 e 9.6**).

A especificação dos fatores experimentais para um experimento particular pode ser sugerida através das respostas às seguintes questões correspondentes a essas classes de fatores experimentais:

a) Que características cujos níveis possam ser impostos pelo pesquisador (características de tratamento) o experimento tem o objetivo direto de pesquisar? Essas características constituem fatores experimentais principais.

b) Quais são as características de tratamento adicionais cujas interações com as características da classe a) podem ser importantes?

c) Quais características relacionadas com técnicas experimentais são relevantes?

d) Para que agrupamentos naturais das unidades de observação disponíveis é esperado que os efeitos das características de tratamento da classe a) variem consideravelmente entre os diferentes grupos?

e) A escolha deliberada de unidades de observação variáveis e sua classificação em grupos heterogêneos são desejáveis para exame de possível variação da resposta de características da classe a) entre esses grupos, e extensão da amplitude de validade das inferências referentes a essas características?

O processo de especificação dos fatores experimentais através da resposta a essa lista de questões é ilustrado através dos exemplos que seguem:

Exemplo 8.30

Considere-se um experimento para pesquisa das propriedades de cultivares de trigo melhoradas para resistência à ferrugem.

As respostas às questões para a escolha dos fatores para este experimento podem ser, respectivamente, as seguintes:

a) A característica de tratamento diretamente relacionada aos objetivos do experimento é, naturalmente, cultivar. Então, cultivar é um fator experimental principal.

b) Os desempenhos relativos das cultivares podem depender da incidência da ferrugem. Dessa forma, pode ser interessante a inclusão de fungicida como um fator de tratamento suplementar.

d) Os desempenhos das cultivares também podem depender da data de plantio e, possivelmente, do solo, do clima e de outras características ambientais relevantes. Características referentes ao solo e ao clima podem ser consideradas através da condução do experimento em diversos locais, por vários anos. Assim, pelo menos três características correspondentes a agrupamentos físicos importantes das unidades da amostra podem ser consideradas para fator experimental: época de semeadura, local e ano.

As questões c) e e) podem não levantar quaisquer considerações de importância para o experimento.

Assim, os fatores experimentais potenciais para este experimento são: cultivar, fungicida, época de semeadura, local e ano.

Exemplo 8.31

Seja um experimento em parasitologia para pesquisa da imunização para um parasito. Vários ratos são inoculados com uma dose de larva do parasito, e, após um intervalo de tempo apropriado para a ação estimuladora da larva, é injetada uma nova dose de 200 larvas para teste da imunização. Após um ulterior período de tempo, os ratos são mortos e é efetuada a autópsia para determinar o número de larvas presentes, que exprimem o grau de imunização pela dose testada.

As repostas às questões a) a e) podem ser as seguintes:

a) Uma questão básica que o experimento visa responder refere-se à imunização efetuada pela injeção preliminar de larvas. Outras duas questões, também importantes, devem ser levadas em conta, ou seja, a possível redução de imunidade pela ausência de vitamina A na dieta e a variação do efeito imunizador da injeção preliminar de larvas com a dose de vitamina A na ração. Assim, duas características de tratamento são de interesse direto: inoculação inicial de larvas e vitamina A na dieta.

b) Nenhuma característica de tratamento que possa modificar a ação de fatores experimentais principais ou esclarecer a origem dos efeitos desses fatores é sugerida como candidata a fator experimental.

c) Três aspectos da técnica experimental podem ser considerados: a amplitude do intervalo de tempo entre a inoculação e a injeção da dose de teste de imunidade, a quantidade da dose de teste e a amplitude do intervalo de tempo entre o teste de imunidade e a autópsia. Assim, se for esperado que essas técnicas experimentais possam afetar consideravelmente os efeitos dos fatores experimentais definidos em a), uma ou mais dessas técnicas experimentais devem ser consideradas como fator experimental.

d) Os ratos podem ser classificados em machos e fêmeas e em diversas linhagens; assim, sexo e linhagem são características referentes a agrupamentos relevantes das unidades de observação. Também é possível levar em conta o agrupamento dos animais quanto ao peso corporal; por exemplo, através de um fator experimental qualitativo ordenado com três níveis: leve, médio e pesado.

e) Se todos os animais disponíveis para o experimento são aproximadamente de mesma idade, pode ser conveniente a consideração da inclusão de ratos de diferentes grupos de idade.

Essas respostas fornecem a lista de características para possível consideração como fator experimental no experimento: inoculação inicial de larvas, vitamina A na dieta, amplitude do intervalo de tempo entre a inoculação e a injeção da dose de teste de imunidade, quantidade da dose de teste, amplitude do intervalo de tempo entre o teste de imunidade e a autópsia, sexo, linhagem, peso corporal e idade.

Essa lista de características é consideravelmente extensa para constituir os fatores experimentais. A sua consideração criteriosa pode conduzir a um número razoável de fatores experimentais, possivelmente pela fixação de algumas das características candidatas a fator experimental em um nível constante (por exemplo, um único sexo, uma única linhagem, uma única idade, uma única amplitude do intervalo de tempo entre a inoculação e a injeção da dose de teste de imunidade) e a consideração de uma ou mais das características identificadas nos itens c) e d) para controle experimental (por exemplo, se é esperado que a variação da resposta atribuível à inoculação inicial de larvas e à vitamina A na dieta não seja afetada por sexo, linhagem, peso corporal ou idade, uma ou mais destas características pode ser submetida a controle local ou controle estatístico). Observe-se que a primeira solução, ou seja, fixação de alguma característica

candidata a fator experimental em um nível constante, pode implicar a redução da amplitude da população objetivo e, portanto, a reformulação dos objetivos do experimento.

Como observado no **Exemplo 8.31**, eventualmente a escolha dos fatores experimentais pode resultar em um número de fatores muito elevado que implique um número de condições experimentais demasiado para um único experimento. (O número de condições experimentais depende da escolha do número de níveis de cada um dos fatores experimentais, a ser tratada na **Seção 8.6.**) Nesse caso, o pesquisador pode considerar as seguintes alternativas:

- a) reformular o objetivo do experimento para lograr a redução do número de fatores experimentais;
- b) decompor esse objetivo, ou seja, decompor o problema ou a hipótese científica, de modo a originar experimentos separados, com a divisão dos fatores escolhidos entre esses experimentos.

Naturalmente, a primeira alternativa implicará a redução ou simplificação dos objetivos do experimento. A segunda alternativa será apropriada se o pesquisador puder identificar subconjuntos dos fatores escolhidos que não interajam entre si. A ausência de interação entre dois subconjuntos de fatores significa que a resposta a um desses subconjuntos de fatores é independente da combinação dos níveis dos fatores do outro subconjunto.

Em geral, o processo de escolha dos fatores experimentais pode conduzir à definição de um experimento com um ou mais fatores, isto é, à decisão por um experimento unifatorial ou por um experimento fatorial.

Um experimento com um único fator experimental é um **experimento unifatorial**; um experimento com dois ou mais fatores experimentais é um **experimento multifatorial**, mais usualmente designado de **experimento fatorial**.

Uma consideração usualmente relevante refere-se à definição do fator experimental, particularmente à característica a considerar como fator experimental. O **Exemplo 8.32** ilustra a importância da definição precisa e clara do fator experimental.

Exemplo 8.32

a) Considere-se um experimento para pesquisa do efeito da fertilização do solo com nitrogênio inorgânico sobre o desenvolvimento da planta e a produção de grãos de uma cultivar de arroz. A questão que se levanta é a forma do nitrogênio a ser considerada como fator experimental. O pesquisador pode escolher a forma NO_3 ou a forma NH_3 , por exemplo. Essas duas formas são essencialmente diferentes e seus efeitos sobre a resposta da planta poderão ser muito distintos, mesmo com uso de iguais quantidades de nitrogênio.

b) Semelhantemente, em um experimento sobre o efeito da suplementação alimentar no desenvolvimento corporal e a produção de carne de cordeiros, o pesquisador pode escolher o suprimento de uma quantidade fixa diária do suplemento ou o fornecimento desse suplemento à vontade. Essas duas formas de suplementação são distintas e seus efeitos sobre a resposta do animal também poderão ser bastante diferentes.

c) Uma outra ilustração é provida por um experimento com objetivo de pesquisar o efeito do tempo de armazenamento sobre a qualidade da semente de soja. Nesse caso, o fator experimental tempo de armazenamento terá de ser definido mais precisamente, ou seja, deverão ser estabelecidas as condições de armazenamento: ambiente natural ou ambiente com unidade e temperatura controladas; neste último caso, deve ser especificado o nível de controle a ser efetuado.

Em algumas circunstâncias, especialmente em experimentos tecnológicos, pode ocorrer que o fator experimental implementado na amostra difira daquele de interesse sob consideração na população objetivo. Isso pode resultar, por exemplo, quando as condições ambientais sob as quais é conduzido o experimento são mais controladas do que aquelas correspondentes à situação prática para a qual o experimento visa gerar inferências. Por exemplo, se o experimento referente ao armazenamento de semente de soja do **Exemplo 8.32 c)** for conduzido em instalações especialmente construídas para a pesquisa, as condições de armazenamento poderão ser consideravelmente mais controladas do que aquelas usuais na população objetivo.

De modo geral, deve-se ter em conta que o fator experimental efetivamente pesquisado em um experimento é aquele que o pesquisador de fato implementa; esse é o fator experimental da população amostrada. As inferências derivadas da amostra aplicam-se a esse fator; não necessariamente a um fator da população objetivo com definição diferente.

8.6 Escolha dos Níveis dos Fatores Experimentais

A escolha dos níveis dos fatores experimentais para a população objetivo deve preceder a escolha dos níveis desses fatores para a amostra.

A escolha dos níveis de um fator experimental para a população objetivo deve ter em conta os objetivos do experimento, a característica explanatória sob consideração, aspectos teóricos e práticos referentes à área da pesquisa, a escala de medida conveniente (**Seção 7.3**), especialmente quanto à precisão e outras propriedades desejáveis do processo de mensuração (**Seção 7.6**), e a aplicabilidade à população objetivo. Observe-se que a população objetivo pode não ser um conjunto de unidades semelhantes às unidades reais com existência no momento do planejamento da pesquisa. Com alguma frequência, o objetivo de uma pesquisa é a geração de inferências para uma nova situação, ou seja, para uma população objetivo evoluída.

Os níveis de um fator experimental na amostra são os próprios níveis desse fator na população objetivo ou um subconjunto desses níveis. Essa é uma distinção entre as diferentes classes de fator experimental (**Seção 8.3**), que resulta dos objetivos do experimento e que tem implicações relevantes para os procedimentos de inferência estatística apropriados. A escolha dos níveis de cada fator experimental para a amostra deve levar em conta os objetivos do experimento, a definição do fator e dos correspondentes níveis na população objetivo, a disponibilidade de material e a classe apropriada do fator. Também deve considerar o requisito de simplicidade e os recursos disponíveis, especialmente no que diz respeito ao tamanho do experimento.

No processo de escolha dos níveis de fatores experimentais para a amostra, especialmente dos tratamentos, devem ser asseguradas propriedades importantes para as inferências. Uma propriedade particularmente importante é que os tratamentos difiram por atributos simples e identificáveis. Essa propriedade é relevante para garantir que diferenças de respostas a tratamentos tenham interpretações únicas. Com alguma frequência experimentos revelam diferenças de efeitos de tratamentos que, entretanto, têm duas ou mais interpretações. Essas ambigüidades decorrem de falhas de planos de experimentos que podem ser corrigidas pela inclusão de tratamentos para discriminar entre as diferentes interpretações. Em algumas situações, pode ser apropriado incluir alguns tratamentos adicionais; em outras, estabelecer uma estrutura fatorial para os tratamentos. A escolha de tratamentos que evite ambigüidade de interpretações é um dos requisitos importantes do plano do experimento. O **Exemplo 8.33** provê ilustrações.

Exemplo 8.33

Considere-se um experimento referente ao controle de doenças fúngicas do trigo por meio do fungicida Vitavax, com quatro tratamentos: três tratamentos constituídos por aplicação de Vitavax na semente seguida de pulverização da lavoura com três doses diferentes de Vitavax, e um tratamento sem fungicida.

Com essa escolha de tratamentos, se os tratamentos com Vitavax revelarem-se eficazes, em comparação com o tratamento sem fungicida, o pesquisador não terá como discriminar se essa eficácia decorreu da aplicação do fungicida na lavoura ou na desinfecção da semente. Esse confundimento de efeitos pode ser evitado pela inclusão de um tratamento adicional constituído por Vitavax aplicado apenas na semente.

Uma escolha de tratamentos alternativa poderia ser a consideração dos quatro tratamentos originais como os níveis de um fator - Vitavax na lavoura, e de um fator adicional - Vitavax na semente com dois níveis: sem e com fungicida. A conseqüente duplicação do número de tratamentos permitiria discriminar a possível suficiência da aplicação do fungicida apenas na lavoura.

Um procedimento muitas vezes conveniente é iniciar a escolha dos níveis de cada um dos fatores pela especificação dos níveis que parecem apropriados, sem muita consideração à disponibilidade de recursos. Então, se resulta um número excessivo de combinações de níveis, seleciona-se um subconjunto apropriado desses níveis, tendo em conta as propriedades convenientes para cada fator e a estrutura apropriada das combinações dos níveis do conjunto dos fatores (**Seção 8.7**).

O racional e os critérios para a escolha dos níveis de cada fator variam segundo a classe do fator. Portanto, é conveniente discuti-la separadamente para cada classe.

8.6.1 Fator qualitativo específico

Para essa classe de fator experimental, os níveis na amostra são os mesmos níveis definidos para a população objetivo.

Para um fator qualitativo específico principal, que é usualmente um fator de tratamento, a escolha dos tratamentos apropriados é usualmente derivada das comparações definidas pelos objetivos do experimento. Essas comparações podem ser entre tratamentos individuais, ou seja, entre os tratamentos de cada par de um conjunto dos tratamentos, ou um conjunto de comparações de grupos de tratamentos. No primeiro caso, os tratamentos são de interesse específico e constituem um conjunto de níveis não estruturado; no segundo, os tratamentos são determinados pelas comparações de interesse e constituem um conjunto de níveis estruturados segundo essas comparações. Assim, no **Exemplo 8.16** e no **Exemplo 8.17** os tratamentos (cultivares e antibióticos, respectivamente) são de interesse específico; no **Exemplo 8.19** os tratamentos são determinados pelas comparações estabelecidas pelos objetivos do experimento.

Em qualquer dessas duas situações, a escolha dos níveis particulares envolve alguma avaliação subjetiva e pode não ser tarefa fácil. No caso em que o objetivo do experimento define interesse em tratamentos individuais, a questão que muitas vezes se levanta é a dificuldade ou impossibilidade de adoção de todos os níveis desejáveis, tendo em conta os recursos disponíveis, especialmente em relação ao material experimental. Nessas circunstâncias, deve ser obtido um meio termo entre o número de níveis desejável e o número viável, com o sacrifício de alguns níveis menos importantes. Menos freqüentemente, a consideração do acréscimo de alguns níveis adicionais pode ser conveniente para a obtenção de um plano experimental mais apropriado. Essas situações ocorrem, por exemplo, em experimentos de comparação de cultivares com número consideravelmente elevado de cultivares.

Na situação em que o objetivo do experimento compreende um conjunto de comparações, a escolha dos tratamentos pode ser mais difícil em decorrência de incerteza gerada pela grande amplitude de possibilidades. Em geral, é recomendável que os objetivos sejam detalhados de modo a sugerirem as comparações. Sempre que apropriado é recomendável que as comparações escolhidas sejam **ortogonais**, ou seja, comparações que provém informações não redundantes. Essa propriedade é importante por atender o princípio de parcimônia requerido da pesquisa científica e ser um requisito desejável de procedimentos de inferência estatística.

Os conceitos de comparações e comparações ortogonais são estabelecidos a seguir:

Uma **comparação de tratamentos** é expressa por uma combinação linear das médias dos tratamentos na população objetivo m_1, m_2, \dots, m_t , ou seja:

$$C = c_1 m_1 + c_2 m_2 + \dots + c_t m_t,$$

onde c_1, c_2, \dots, c_t são constantes que satisfazem à condição $c_1 + c_2 + \dots + c_t = 0$.

Duas comparações de tratamentos $C_1 = c_{11} m_1 + c_{12} m_2 + \dots + c_{1t} m_t$ e $C_2 = c_{21} m_1 + c_{22} m_2 + \dots + c_{2t} m_t$ são **comparações ortogonais** se seus coeficientes satisfazem à condição:

$$c_{11} \times c_{21} + c_{12} \times c_{22} + \dots + c_{1t} \times c_{2t} = 0.$$

Um conjunto de comparações de tratamentos constitui **comparações ortogonais** se cada um dos pares de comparações do conjunto é ortogonal.

Exemplo 8.34

As comparações que originaram os quatro tratamentos do experimento do **Exemplo 8.19** são:

C_1 - efeito do acetato: tratamentos 1, 2 e 3 versus tratamento 4,

C_2 - fontes de acetato isoladas versus fontes de acetato combinadas: tratamentos 1 e 2 versus tratamento 3, e

C_3 - entre fontes de acetato: tratamento 1 versus tratamento 2.

Os coeficientes dessas quatro comparações são especificados na **Tabela 8.1**.

Tabela 8.1. Coeficientes das quatro comparações definidas pelos objetivos do experimento do **Exemplo 8.19**.

Comparação	Tratamento			
	1	2	3	4
C_1	1	1	1	-3
C_2	1	1	-2	0
C_3	1	-1	0	0

Para um fator qualitativo específico complementar geralmente é apropriado um pequeno número de níveis. Os níveis desses fatores são algumas vezes sugeridos pela própria natureza da característica, como é o caso de sexo, por exemplo. Quando o número de níveis da característica é elevado, mas há indicações de que a característica

não afeta as comparações dos níveis dos fatores principais, pode ser apropriada a escolha de apenas dois níveis para o fator suplementar - os dois níveis que representem os dois grupos de níveis mais diferenciados da característica.

Exemplo 8.35

Em um experimento de fertilização do solo para o cultivo da soja, pode ser conveniente a consideração de cultivar como um fator suplementar para que as inferências do experimento sejam válidas para todas as cultivares em uso pelos agricultores. Se não é esperada interação entre fertilização do solo e cultivar, pode ser adequado definir o fator cultivar com apenas dois níveis, constituídos por uma cultivar exigentes quanto à fertilidade do solo e uma cultivar não exigente, que representem a gama de exigência das cultivares disponíveis referente à qualidade do solo. Entretanto, se é esperada interação entre fertilização do solo e cultivar, será conveniente considerar um número maior de cultivares, como, por exemplo, duas cultivares típicas dos dois grupos mais distintos e pelo menos uma cultivar representativa do grupo intermediário.

8.6.2 Fator qualitativo amostrado

O número de níveis de um fator dessa classe na população objetivo é usualmente estabelecido pela definição dessa população.

No caso de fator de tratamento, o número de níveis na amostra não pode ser muito pequeno; deve ser suficiente para permitir a representação apropriada da população objetivo. No caso de fator intrínseco em que os níveis na amostra visam apenas a representação da variabilidade da correspondente característica presente na população objetivo, limitações referentes ao tamanho da amostra podem recomendar a escolha de poucos níveis, contanto que seja lograda a apropriada representação dessa variabilidade.

A escolha dos níveis de um fator qualitativo amostrado para a amostra é suposta aleatória para que inferências referentes à coleção dos níveis na população objetivo sejam válidas (**Seção 8.3.5**). Esse procedimento, entretanto, é usualmente inviável, já que comumente a coleção dos níveis na população objetivo é apenas conceitual; esse é, por exemplo, a situação dos fatores ano e local. Nessas circunstâncias, a escolha dos níveis para a amostra deve ser cuidadosa para a garantia de que eles representem adequadamente a coleção de níveis de interesse.

8.6.3 Fator quantitativo

A coleção dos níveis de um fator quantitativo na população objetivo é um intervalo de níveis ou um conjunto de valores isolados de um intervalo de níveis, dependendo da característica a que corresponde o fator. Em geral, a escolha restringe-se aos extremos desse intervalo, já que os extremos determinam os demais níveis intermediários.

Os níveis para constituir a amostra devem ser escolhidos de modo a permitir a estimação adequada da equação postulada para exprimir a relação entre a variável resposta e o fator experimental, no intervalo de níveis da população objetivo. Para tal, a amostra necessariamente deve incluir os dois extremos do intervalo de níveis definido para a população objetivo.

Assim, o primeiro passo é a decisão referente aos extremos do intervalo de definição do fator, isto é, do menor e do maior nível desse fator que devem ser considerados tanto na população objetivo como na amostra. O passo seguinte é a decisão sobre o número de níveis intermediários na amostra e a distribuição desses níveis.

Escolha dos níveis extremos

Em algumas circunstâncias, os níveis extremos são determinados por considerações de ordem teórica e prática e pela experiência.

Exemplo 8.36

a) Em um experimento para a determinação da umidade adequada para a conservação da semente de uma determinada espécie vegetal cultivada pode ser conhecido que umidade fora do intervalo compreendido entre 10 e 20 por cento é prejudicial à qualidade da semente e que a umidade mais apropriada situa-se no interior desse intervalo. Então, esses devem ser os extremos do intervalo de interesse, ou seja, os extremos do intervalo dos níveis da população objetivo.

b) Em um experimento agrícola de campo em que o fator é um determinado fertilizante e os níveis são as correspondentes doses, o nível mínimo é a ausência do fertilizante, isto é, dose zero, ou, menos comumente, uma certa dose mínima conhecida como essencial. A determinação da dose mais elevada pode não ser tão simples. Se o objetivo do experimento é estabelecer a dose ótima, a que corresponde a produção máxima ou o máximo de uma variável econômica, como a renda líquida, é conveniente escolher o nível superior de modo que a posição do ponto de máximo esperado ou suspeito se situe próxima do centro do intervalo. Se, por outro lado, o experimento tem o objetivo mais básico de determinar a relação entre a variável resposta e a dose para melhor conhecimento do fenômeno, pode ser recomendável estender o intervalo para que cubra uma maior amplitude de níveis, visto que o comportamento da relação sob condições extremas pode ser de interesse científico.

De modo geral, a especificação dos extremos do intervalo dos níveis de um fator quantitativo depende da variável resposta sob consideração. No caso de interesse em mais de uma variável resposta, os extremos inferior e superior devem corresponder, respectivamente, ao menor dos extremos inferiores e ao maior dos extremos superiores adequados a essas variáveis respostas.

Ressalte-se que a estimação da equação de resposta é determinada pelos níveis escolhidos, os níveis extremos e mais os intermediários, com a propriedade de constituir-se na curva que "melhor" se aproxima dos pontos determinados pelos níveis e correspondentes respostas observadas na amostra. Dessa forma, inferências a partir dos resultados do experimento são válidas apenas para o intervalo dos níveis compreendidos entre os dois níveis extremos escolhidos.

Em algumas situações pode não haver experiência e informação suficiente para o estabelecimento dos extremos do intervalo de níveis. Nessas circunstâncias, pode ser conveniente a condução de um experimento preliminar para a determinação dos extremos apropriados.

Exemplo 8.37

Considere-se um experimento para pesquisa do efeito de um inseticida sobre o controle de uma praga de uma espécie vegetal em que a variável resposta de interesse é a proporção de insetos mortos. Nessa situação, com doses muito pequenas do inseticida nenhum inseto morre e com doses muito elevadas todos morrem. Se não é disponível informação anterior, o melhor caminho é proceder em dois estágios, isto é, através de dois experimentos sucessivos: o primeiro para determinar o intervalo de doses; o segundo para o estudo da relação entre a resposta e a dose do inseticida.

Escolha do número e da posição dos níveis

Estabelecido o intervalo de níveis para cada um dos fatores experimentais, o passo seguinte é determinar os correspondentes números e posições dos níveis para a amostra. O procedimento apropriado é usualmente a escolha do número de níveis e da posição dos níveis separadamente para cada fator.

A decisão referente ao número de níveis e à posição dos níveis depende da forma da curva de resposta ao fator experimental. Portanto, a escolha deve ser baseada no conhecimento existente, teórico e empírico. Em muitas situações, especialmente quando a curva teoricamente adequada é desconhecida ou é muito complexa, pode ser conveniente o uso de uma curva polinomial de grau baixo como uma aproximação. Nesse caso, é adequada a adoção de níveis sucessivos igualmente espaçados. Em outras

situações, é sabido que a aproximação por uma curva polinomial não é apropriada. Esse é o caso, por exemplo, quando é esperado que a resposta cresça, aproximando-se indefinidamente de um patamar, sem, contudo, atingi-lo. Nesse caso, é desejável incluir níveis menos espaçados na parte ascendente da curva de resposta, onde a inflexão é mais acentuada, e níveis mais espaçados na parte em que a curva tende ao patamar. De modo geral, se a variação da resposta é mais sensível em um subintervalo do intervalo de níveis e, portanto, esse subintervalo é de maior interesse, os níveis da amostra devem ser mais próximos nesse subintervalo. Isto pressupõe algum conhecimento prévio da forma geral e da posição da curva no intervalo de níveis.

De modo geral, devem ser escolhidos para a amostra níveis sucessivos igualmente espaçados, exceto se há indicação teórica ou empírica em contrário, como ilustrado no parágrafo anterior. O número mínimo de níveis a utilizar é obviamente dois. Entretanto, com apenas dois níveis pode-se estimar apenas o crescimento médio da resposta; nenhuma informação pode ser obtida sobre a forma da curva de resposta. (Em se tratando de uma curva polinomial, por exemplo, dois pontos determinam uma e apenas uma curva do primeiro grau, isto é, uma linha reta, mas infinitas curvas de grau superior.) Portanto, dois níveis devem ser utilizados apenas em experimentos preliminares e em experimentos em que são suficientes conclusões qualitativas referentes às direções e sentidos dos efeitos. Assim, usualmente é desejável a inclusão de mais de dois níveis na amostra. A adoção de três níveis permite o exame mais simples da forma da curva de resposta.

A escolha do número e da posição dos níveis para a amostra está necessariamente relacionada com o número total de unidades experimentais para o fator e com sua distribuição entre os níveis, isto é, com o número de repetições para cada nível. Em situações em que a curva de resposta esperada é suave e pode ser razoavelmente aproximada por uma curva polinomial, as seguintes diretrizes gerais podem ser apropriadas para a escolha do número de níveis e sua distribuição, e para a distribuição do número de unidades experimentais entre os níveis escolhidos:

a) Use dois níveis se o objetivo principal do experimento é verificar se o fator experimental tem efeito e a direção e o sentido do efeito. Nesse caso, os dois níveis são os níveis extremos, que devem ser escolhidos em posições suficientemente distantes para que se manifestem os possíveis efeitos do fator. Com essa decisão, aceita-se o risco de que a interpretação dos resultados possa ser prejudicada por curvatura substancial da resposta no intervalo.

b) Use três níveis se é esperado que a curva de resposta seja adequadamente descrita pela sua declividade e curvatura. Essa é a situação mais usual. Três níveis sucessivos igualmente espaçados, ou seja, os extremos do intervalo e um nível equidistante desses extremos permitem a estimação mais precisa da declividade e da curvatura da resposta.

c) Use quatro níveis se é importante um melhor exame da forma da curva de resposta. O uso de quatro níveis diminui a precisão da estimativa da declividade e da curvatura, mas permite o exame da consistência das respostas com uma curva de resposta parabólica (polinomial quadrática) e, se necessário, a estimação de uma curva de resposta mais complexa, como a curva polinomial cúbica.

d) Use mais de quatro níveis se é desejado um exame detalhado da forma da curva de resposta, especialmente se referente a propriedades não descritas adequadamente pela declividade e curvatura, ou quando é esperado que a curva cresça (ou decresça) de modo assintótico para um patamar, sem atingi-lo.

Com exceção dos dois últimos casos, geralmente é adequado o uso de níveis sucessivos igualmente espaçados com igual número de observações por nível.

A aplicação dessas recomendações depende da importância relativa dos diferentes aspectos da pesquisa, das informações disponíveis e do julgamento do pesquisador. Em particular, elas não são aplicáveis se é sabido que a variação estranha não controlada não é uniforme para todos os níveis, ou se a curva de resposta não é suave, apresentando saltos, por exemplo. No primeiro caso, a distribuição das unidades experimentais entre os níveis do fator deve concentrar números de unidades mais elevados nos níveis em que é esperada variação estranha mais acentuada. No último caso, deve ser considerada a utilização de um número elevado de níveis.

Uma consideração de relevância referente à seleção dos níveis de fatores experimentais para a amostra diz respeito à diferença que pode resultar entre os níveis logrados para a amostra e os correspondentes níveis definidos para a população objetivo. Essa diferença pode ser consequência do controle de técnicas experimentais ou da inviabilidade de lograr os níveis definidos no plano do experimento. O **Exemplo 8.38** provê ilustrações dessas duas situações.

Exemplo 8.38

a) Em um experimento de densidade de plantio de sorgo, o pesquisador pode lograr populações de plantas mais uniformes do que nas condições práticas da população objetivo, com o uso de controle de técnicas experimentais, como a semeadura de um número de sementes mais elevado do que o pretendido e ulterior desbaste de plantas. Sem esse controle, os efeitos de diferenças de densidade de plantio sobre a produção e características da planta poderão ser distintos.

b) Em um experimento do efeito da umidade da semente sobre sua qualidade fisiológica após um período de armazenamento dificilmente o pesquisador pode lograr o uso de semente com os teores de umidade definidos no plano do experimento como inteiros. Por exemplo, o pesquisador pode efetivamente lograr 10,1 e 11,8% de umidade respectivamente para dois tratamento que definiu como 10,0 e 12% de umidade.

Assim como foi ressaltado no último parágrafo da **Seção 8.5** com referência à escolha do fator experimental, deve ser lembrado que os níveis efetivamente pesquisados em um experimento são aqueles que o pesquisador de fato implementa. As inferências derivadas da amostra aplicam-se a esses níveis; não necessariamente a níveis com definições diferentes que tenham sido estabelecidas para a população objetivo.

Essas questões ou dificuldades podem ser contornadas através da descrição precisa dos níveis efetivamente implementados no experimento, nas publicações e em outros meios de difusão dos resultados do experimento. Na segunda ilustração do **Exemplo 8.38** a diferença entre os níveis logrados na amostra e os níveis definidos para a população objetivo pode ser levada em conta na análise estatística dos resultados, com a consideração dos níveis realmente implementados na amostra.

8.6.4 Escolha de Tratamentos Adicionais

Nas seções anteriores, foi discutida a escolha dos níveis dos fatores experimentais. Tratar-se-á, agora, da inclusão de tratamentos especiais.

A inclusão de um ou mais tratamentos especiais em um fator experimental de tratamento pode ser importante para servir de referência para a avaliação dos efeitos dos demais tratamentos e de sua importância prática, e para prover a discriminação de possíveis efeitos de duas ou mais origens. Tais tratamentos são genericamente denominados tratamentos referências:

Um tratamento incluído entre os níveis de um fator experimental de tratamento para servir de referência ou termo de comparação para os demais tratamentos é denominado **tratamento referência**, ou, mais usualmente, **tratamento controle**, **testemunha** ou **padrão**.

A presença de tratamento referência é muito freqüente em fator qualitativo específico estruturado (**Exemplo 8.17** e **Exemplo 8.19**) e em fator misto (**Exemplo 8.26**, **Exemplo 8.27**). De fato, fatores dessas categorias muito freqüentemente resultam da adição de um ou mais tratamentos referências a um conjunto de níveis que se relacionam qualitativamente ou quantitativamente.

Uma ilustração mais ampla é dada no **Exemplo 8.39**.

Exemplo 8.39

Considere-se um experimento com o propósito de comparar produtos inseticidas (ou mais genericamente, pesticidas, isto é, inseticidas, herbicidas ou fungicidas), aplicados através de um pulverizador. Nesse experimento, o pesquisador pode ter interesse nos seguintes aspectos: a) eficácia relativa da aplicação dos inseticidas; b) conveniência da aplicação dos produtos inseticidas relativamente aos métodos usuais de controle de insetos; c) discriminação dos efeitos dos inseticidas de possíveis efeitos do líquido utilizado para sua dissolução; d) discriminação dos efeitos dos inseticidas de possíveis prejuízos causados pela ação de pulverizar.

Nessas circunstâncias, o pesquisador deve considerar a conveniência de um ou mais dos seguintes tratamentos referência: a) um tratamento que envolva a ausência de pulverização; b) um tratamento correspondente à pulverização usualmente adotada pelos agricultores; c) um tratamento que consista da aplicação do líquido utilizado para dissolver os inseticidas; e d) um tratamento que consista da passagem do pulverizador pela área, sem pulverização efetiva.

Em experimentos em medicina humana é muito freqüentemente importante um tratamento referência para distinguir efeitos sobre as unidades (indivíduos) de origem física atribuíveis aos tratamentos de efeitos de origem psíquica não atribuíveis aos tratamentos. Um tratamento referência com essas características é denominado **placebo**.

Exemplo 8.40

Considere-se um experimento em medicina humana para a avaliação de drogas para o controle de uma doença cuja manifestação possa ter influência psicológica; enxaqueca, por exemplo. É sabido que o efeito físico (somático) de um medicamento para o controle de uma doença dessa origem pode resultar confundido com efeitos da reação psicológica do paciente. Nessas circunstâncias, pode ser conveniente discriminar os efeitos somáticos dos tratamentos (drogas) de possíveis efeitos psicológicos. Essa discriminação pode ser lograda pela inclusão de um tratamento inócua que para os indivíduos (unidades experimentais) seja indistinguível dos demais tratamentos em todos os aspectos, exceto pela ausência de qualquer substância para o controle da doença.

Exercícios 8.3

1. Explique e ilustre a distinção entre fator experimental principal e fator experimental secundário quanto à relação com os objetivos do experimento.
2. Dê um exemplo de sua área em que você possa ilustrar pelo menos um fator experimental de cada uma das seguintes categorias: 1 - fator principal, 2 - fator que pode modificar a ação de um fator principal ou esclarecer a origem de seu efeito, 3 - fator relacionado com técnica experimental, 4 - fator que representa agrupamento fisicamente importante das unidades de observação e 5 - fator que representa variação inserida deliberadamente no material experimental.
3. Classifique os fatores dos experimentos caracterizados nos exercícios 7 e 8 dos **Exercícios 5.1** nas duas seguintes categorias: 1 - fator principal e 2 - fator secundário ou suplementar.

4. Classifique os fatores experimentais caracterizados nos experimentos dos exemplos da **Seção 5.8** nas duas categorias de que trata o exercício 3.
5. Escolha três experimentos entre aqueles caracterizados no exercício 11 dos **Exercícios 8.2**. Para cada um desses três experimentos, indique outros fatores que poderiam ser importantes para consideração. Justifique a indicação.
6. Descreva, em linhas gerais, o procedimento para escolha dos níveis de um fator quantitativo para a amostra.
7. Por definição, os níveis de um fator qualitativo amostrado para a amostra são escolhidos aleatoriamente. Explique porque essa pressuposição é muito freqüentemente irreal e a consequência desse fato.
8. Suponha que você deve planejar um experimento com um fator quantitativo. Para cada uma das seguintes situações, indique o número de níveis que devem ser incluídos na amostra e a correspondente distribuição (posição) desses níveis:
 - a) Você sabe que a relação entre a variável resposta e o fator experimental pode ser aproximada por uma função polinomial de primeiro grau (linha reta).
 - b) Você sabe que a relação entre a variável resposta e o fator pode ser aproximada por uma função polinomial do segundo grau (curva quadrática ou parábola).
 - c) Você espera, mas não está seguro de que a relação entre a variável resposta e o fator possa ser aproximada por uma função polinomial de segundo grau, e quer verificar se tal função é apropriada para expressar essa relação com base nos dados do experimento.
9. Considere os seguintes experimentos cujos tratamentos na amostra são indicados:
 - A - "Estudo da eficácia de fungicidas no tratamento de semente de cebola". Tratamentos: 1 - Dithane, 2 - Thylate e 3 - Phygon.
 - B - "Efeito do hormônio estradiol sobre o desenvolvimento corporal de perus machos". Tratamentos: 1 - 20mg, 2 - 30mg e 3 - 40mg.
 - C - "Utilização de acetato para a síntese de leite de cabra". Tratamentos: 1 - Prolactina 0,2mg/kg de peso do animal, 2 - Dexametasona 0,2mg/kg, 3 - Prolactina 0,1mg/kg mais Dexametasona 0,1mg/kg.
 - D - "Determinação da temperatura do processo de maceração para obtenção da cor e do sabor desejáveis do arroz parbolizado". Tratamentos: Temperatura; níveis: 1 - 60°C, 2 - 70°C.

Para cada um desses experimentos:

 - a) Justifique ou critique a lista de tratamentos, tendo em conta o objetivo do experimento indicado pelo seu título.
 - b) Como você alteraria a lista dos tratamentos para adequá-la ao objetivo do experimento?
 - c) Identifique e denomine o fator experimental.
 - d) Especifique a coleção dos níveis do fator experimental na respectiva população objetivo.
10. Explique e ilustre o significado de tratamento referência. Quais são os propósitos de um tratamento referência?
11. Comente a respeito da conveniência ou necessidade de tratamento controle em cada um dos experimentos do exercício 9.
12. Qual é o propósito de um tratamento placebo. Ilustre com um exemplo.

8.7 Escolha das Condições Experimentais

8.7.1 Introdução

Quando a escolha dos fatores experimentais origina apenas um fator experimental, a definição das condições experimentais completa-se com a escolha desses dos níveis desse fator.

Se a escolha dos fatores experimentais resulta em dois ou mais fatores, ou seja, em um experimento fatorial, a definição das condições experimentais deve ser procedida pela escolha das combinações dos níveis desses fatores para a amostra. Há uma extensa gama de possibilidades para a escolha das combinações de níveis, que é crescente com o número de fatores experimentais. Em geral, apenas uma dessas possibilidades alternativas é apropriada para os objetivos do experimento, as classes dos fatores experimentais sob consideração e os recursos disponíveis. Essas várias possibilidades correspondem a diferentes estruturas de relação entre as condições experimentais. Essas diferentes estruturas são indicadas na seguinte classificação;

- estrutura fatorial cruzada:
- estrutura fatorial cruzada completa,
- estrutura fatorial cruzada incompleta ou fracionária,
- estrutura fatorial cruzada estendida;
- estrutura hierárquica:
- estrutura hierárquica balanceada,
- estrutura hierárquica não balanceada; e
- estrutura fatorial mista.

8.7.2 Notação de fatores experimentais e representação de estruturas fatoriais

Fatores experimentais são simbolizados por letras maiúsculas; as iniciais de seus respectivos nomes (C para o fator cultivar, N para o fator nitrogênio, por exemplo) ou, mais genericamente, pelas primeiras letras do alfabeto as primeiras letras do alfabeto (A, B, C,...). Os níveis de um fator A são denotados pelo símbolo do fator acompanhado de um subscrito para especificar um nível particular do fator. O subscrito, em caractere pequeno, é uma variável que assume os valores $1, 2, \dots, a, \dots, A$, que distinguem os níveis do fator. Dessa forma, os níveis do fator A são denotados por $A_1, A_2, \dots, A_a, \dots, A_A$, onde a letra A_a representa um nível arbitrário desse fator e A o número de níveis na amostra.

Em um experimento unifatorial com um único fator experimental A o conjunto das condições experimentais é, então, A_1, A_2, \dots, A_A ; uma condição experimental é designada genericamente por A_a . Em um experimento com dois ou mais fatores experimentais uma condição experimental é uma combinação dos níveis desses fatores na amostra. Se o experimento compreende dois fatores experimentais, sejam A e B, uma condição experimental é designada, genericamente, por $A_a B_b$; se os fatores experimentais são três, A, B e C, uma condição experimental é denotada por $A_a B_b C_c$.

Estruturas fatoriais podem ser representadas por tabelas, símbolos e diagramas. Na representação tabular os níveis de cada um dos fatores são dispostos em uma entrada de uma tabela de tantas entradas quanto são os fatores. As combinações de níveis presentes na amostra são indicadas nas células dessa tabela por um "x". Essa representação é conveniente por revelar nitidamente as condições experimentais que constituem a estrutura dos fatores experimentais. Estruturas fatoriais também podem ser simbolizadas por expressões que compreendem os símbolos dos fatores e notações

apropriadas para indicar as relações dos fatores. Essa simbolização identifica claramente as formas das relações dos fatores; entretanto, não distingue presença e ausência de combinações de níveis particulares. Isso significa que não distingue estruturas cruzadas completa e incompleta, assim como, também, estruturas hierárquicas balanceada e não balanceada.

A representação por diagrama, denominado **diagrama de Hasse** ou **diagrama de estrutura**, é um complemento muito útil por facilitar a apreciação visual das relações de fatores e, particularmente, das relações de ordenação parcial de fatores. Ademais, essa representação também pode ser utilizada para representação de efeitos de fatores e derivação de graus de liberdade e de estatísticas relevantes para inferências, como somas de quadrados e quadrados médios. Genericamente, trata-se de um diagrama de árvore com ramos derivados de nódulos que representam os fatores presentes na estrutura. Um ou mais ramos principais são derivados do nódulo que representa o material experimental; os fatores são representados na extremidade desses ramos e de ramos de ramificações sucessivas, segundo as formas das relações dos fatores.

Essas formas de representação são desenvolvidas nas seções que seguem, juntamente com a descrição e ilustração das estruturas de fatores experimentais.

8.7.3 Estrutura unifatorial

Uma **estrutura unifatorial** compreende o conjunto dos níveis de um único fator experimental.

O único fator de uma estrutura unifatorial é necessariamente um fator de tratamento, e as condições experimentais, ou seja, os tratamentos são os próprios níveis do único fator experimental na amostra. Portanto, as condições experimentais constituem tratamentos simples.

Essa estrutura fatorial pode ser representada em uma tabela de uma única entrada. Assim, por exemplo, uma estrutura fatorial de um fator A com seis níveis: A_1, A_2, \dots, A_6 pode ser representada em uma tabela como a da **Figura 8.2**, onde o asterisco indica a presença do nível do fator na estrutura.

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
×	×	×	×	×	×

Figura 8.2. Estrutura unifatorial de um fator A com 6 níveis.×

O símbolo de uma estrutura unifatorial é o próprio símbolo do fator. Assim, a estrutura de um único fator A é simbolizada por A. O diagrama de Hasse dessa estrutura compreende um único ramo com origem no nódulo M_c que representa o conjunto das condições experimentais presentes no material experimental e extremidade voltada para baixo, no nódulo que representa o fator experimental A. Esse diagrama é apresentado na **Figura 8.3**.



Figura 8.3. Diagrama da estrutura de um fator experimental A, que é simbolizada por A.

Estruturas unifatoriais distinguem-se segundo as relações entre os níveis do único fator experimental que constituem as classes consideradas e ilustradas na **Seção 8.3**.

8.7.4 Estrutura fatorial cruzada

Uma relação de níveis de dois fatores experimentais na amostra é uma relação cruzada se ela permite derivação de inferências referentes à interação desses fatores.

A **interação** de dois fatores experimentais A e B, denotada por A:B, é a variação da resposta entre os níveis do fator A quando muda o nível do fator B, ou, equivalentemente, a variação da resposta entre os níveis do fator B quando muda o nível do fator A.

Observe-se que a presença de interação de dois fatores significa que a resposta a um desses fatores depende do nível do outro; a ausência de interação significa que a resposta a um desses fatores é independente do nível do outro fator.

Então, conceitua-se uma relação cruzada de dois fatores como segue:

A relação de dois fatores experimentais A e B na amostra é uma **relação fatorial cruzada** se níveis do fator A se repetem nas combinações com níveis diferentes do fator B de modo a permitir inferências referentes à interação A:B.
Diz-se, então, que o fator A é **cruzado** com o fator B.

A relação cruzada dos fatores A e B é simbolizada por A*B. A relação de cruzamento é recíproca, ou seja, se o fator A é cruzado com o fator B, então o fator B é cruzado com o fator A. Portanto, as notações de cruzamento A*B e B*A são equivalentes.

O conceito de relação fatorial cruzada estende-se para qualquer número de fatores experimentais como segue:

Uma relação de fatores experimentais na amostra é uma **relação fatorial cruzada** se níveis de cada um desses fatores se repetem nas combinações com níveis diferentes dos demais fatores de modo a permitir inferências referentes às interações desses fatores.

Observe-se que a relação de cruzamento não é transitiva, pois A*B e B*C não assegura A*C. Ademais, relação de cruzamento de todos os pares de três fatores não garante que a relação dos três fatores seja cruzada, ou seja, A*B, B*C e A*C não implica A*B*C.

Então, define-se estrutura fatorial cruzada como segue:

Uma **estrutura fatorial cruzada** é uma estrutura de fatores experimentais em que todas as relações dos fatores são cruzadas.

Essa estrutura fatorial pode ser representada por uma tabela de tantas entradas quantos são os fatores. A incidência de condições experimentais na amostra é indicada pelo preenchimento de um "x" nas células das combinações de níveis que lhe correspondem. Particularmente, uma estrutura fatorial cruzada de dois fatores experimentais pode ser representada por uma tabela de duas entradas com os níveis de um dos fatores dispostos nas entradas das filas e os níveis do outro fator dispostos nas entradas das colunas. Por exemplo, uma estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores A e B, respectivamente com 3 e 4 níveis em que todas as $3 \times 4 = 12$ combinações dos níveis A_1, A_2 e A_3 do fator A e B_1, B_2, B_3 e B_4 do fator B estão presentes na amostra compreende as condições experimentais: $A_1B_1, A_1B_2, A_1B_3, A_1B_4, A_2B_1, A_2B_2, A_2B_3, A_2B_4, A_3B_1, A_3B_2, A_3B_3$ e A_3B_4 . Essa estrutura é representada por uma tabela de duas entrada com uma entrada para cada fator e com todas as células preenchidas (**Figura 8.4**).

	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	x	x	x	x
A_2	x	x	x	x
A_3	x	x	x	x

Figura 8.4. Estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores A e B, respectivamente com 3 e 4 níveis.

O símbolo de uma estrutura fatorial cruzada é constituído pelos símbolos dos fatores intercalados por cruces. Assim, de modo geral, uma estrutura cruzada dos fatores A, B, C, \dots, M é representada por $A \times B \times C \times \dots \times M$. Essa estrutura é representada por diagrama constituído de feixe de tantos segmentos quantos são os fatores experimentais com uma origem comum e extremos voltados para baixo e cada um dos fatores indicados no extremo de um desses segmentos

Uma estrutura fatorial cruzada é simbolizada pela justaposição dos símbolos dos fatores que a constituem intercalados por um "*". Assim, de modo geral, uma estrutura cruzada dos fatores A, B, C, \dots, F é representada por $A * B * C * \dots * F$. Por exemplo, uma estrutura fatorial cruzada de dois fatores experimentais A e B é simbolizada por $A * B$. O diagrama de Hasse dessa estrutura compreende dois ramos com origem comum no nóculo M_c que representa o conjunto das condições experimentais e extremidades nos nóculos que representam esses fatores experimentais, abaixo do nóculo M_c . O diagrama da estrutura fatorial $A * B$ é apresentado na **Figura 8.5a**.

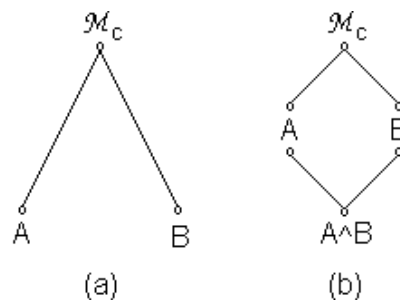


Figura 8.5. Diagrama da estrutura cruzada de dois fatores experimentais $A*B$, sem (a) e com (b) consideração do fator generalizado.

De modo geral, o diagrama de uma estrutura fatorial cruzada compreende tantos ramos quantos são os fatores experimentais com origem comum no nó M_c e extremidades nos nós que representam esses fatores, situados abaixo de M_c .

A associação de fatores experimentais estabelece uma relação entre os níveis desses fatores e tem as mesmas propriedades requeridas de fator experimental (**Seção 5.2**). Em algumas situações será conveniente considerar uma associação de fatores como um fator e designá-lo **fator generalizado** ou **fator complexo** ou, mais simplesmente, **fator**. Um fator generalizado é aninhado nos fatores que o geram; seus níveis são as combinações dos níveis desses fatores. Um fator generalizado é simbolizado pela justaposição dos símbolos dos fatores que originam intercalados por “ \wedge ”. Diagramas de Hasse que incluem esses fatores são alternativas particularmente convenientes para a representação da associação entre as estruturas de fatores experimentais e fatores de unidades, que gera o delineamento experimental. Por essa razão, as duas formas de representação alternativas, ou seja, com e sem a consideração de fatores generalizados, são desenvolvidas paralelamente. A representação alternativa do diagrama da estrutura fatorial cruzada $A*B$ que inclui o fator generalizado $A \wedge B$ é apresentada na **Figura 8.5b**.

Uma estrutura fatorial cruzada pode compreender o conjunto completo das combinações de todos os níveis dos fatores experimentais, ou um subconjunto desse conjunto de combinações. No primeiro caso, diz-se que a estrutura fatorial cruzada é completa; no segundo caso, que ela é incompleta, ou fracionária.

Estrutura fatorial cruzada completa

Na situação de poucos fatores experimentais com poucos níveis, muito freqüentemente, é conveniente a presença de todas as combinações dos níveis dos fatores na amostra.

Uma estrutura fatorial cruzada em que está presente na amostra a coleção completa das combinações dos níveis dos fatores experimentais na amostra é uma **estrutura fatorial cruzada completa**.

O número de condições experimentais de uma estrutura fatorial completa é o produto dos números de níveis dos fatores. Essa estrutura fatorial é representada por uma tabela com todas as células preenchidas, como a representada na **Figura 8.4** para a situação de dois fatores experimentais A e B , respectivamente com 3 e 4 níveis. Uma estrutura completa com mais de dois fatores experimentais pode ser representada de modo semelhante, com as combinações dos níveis de uma parte dos fatores nas

entradas das filas e as combinações dos níveis da outra parte dos fatores na entrada das colunas.

Uma estrutura fatorial cruzada completa é ortogonal, se o número de observações é o mesmo para todas as combinações dos níveis dos fatores. Isso significa que nessas circunstâncias os efeitos dos fatores experimentais não se manifestam confundidos entre si. Essa propriedade é muito conveniente por possibilitar inferências referentes a todos os efeitos dos fatores experimentais.

Os exemplos que seguem provêm ilustração de estrutura fatorial cruzada completa.

Exemplo 8.41

Experimento: “Pesquisa de fontes e métodos de adubação fosfatada para o cultivo de soja”.
Fator 1: fonte de fósforo; níveis na amostra: 1 - superfosfato - 90 kg/ha de P_2P_5 , 2 - fosfato de Olinda - 90 kg/ha de P_2O_5 , 3 - superfosfato - 90 kg/ha de P_2P_5 e cloreto de potássio - 60 kg/ha de K_2O ; fator 2: método de adubação; níveis na amostra: 1 - a lanço, 2 - em sulco junto à semente, 3 - em sulco próximo à semente.

Os dois fatores experimentais - fonte de fósforo e método de adubação são fatores qualitativos específicos estruturados. Os níveis de cada um dos dois fatores na população objetivo e na amostra são os mesmos. Os nove tratamentos na amostra são as nove combinações dos três níveis de cada um desses dois fatores, mostradas na **Tabela 8.2**.

Tabela 8.2. Tratamentos do experimento com estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores experimentais fonte e modo cada um com três níveis, **Exemplo 8.41**.

Tratamento	Fonte	Modo
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

A estrutura fatorial cruzada completa dos fatores experimentais fonte e método pode ser representada por um diagrama de Hasse como o da **Figura 8.5**. No diagrama da **Figura 8.6** as condições experimentais são representadas pelo pares dos níveis dos fatores experimentais fonte e método que são conectados por segmentos de reta. As conexões de todos os níveis do fator fonte com todos os níveis do fator método indicam que todas as combinações dos níveis estão presentes na amostra.

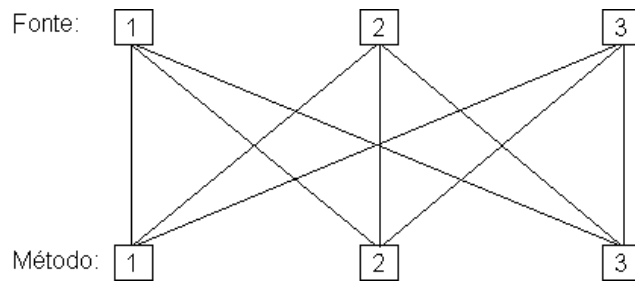


Figura 8.6. Estrutura fatorial cruzada completa dos fatores experimentais fonte e método de adubação do experimento do **Exemplo 8.41**: cada um dos níveis de um desses fatores na amostra se combina com cada um dos níveis do outro fator.

Exemplo 8.42

Experimento: "Fertilização do solo com N, P e K para o cultivo da cevada". Fatores: 1 - Nitrogênio (N), 2 - Fósforo (P) e 3 - Potássio (K), cada um em dois níveis - ausência e presença. Esses três fatores experimentais são fatores de tratamento qualitativos específicos; seus níveis na amostra são os próprios níveis na população objetivo.

Nesse exemplo clássico de experimento fatorial em agricultura, os 8 tratamentos constituem uma estrutura fatorial cruzada completa $2 \times 2 \times 2$. Esses tratamentos são especificadas na **Tabela 8.3**.

Tabela 8.3. Tratamentos do experimento fatorial com três fatores cruzados - N, P e K cada fator com dois níveis - ausência (sem) e presença (com), **Exemplo 8.42**.

Tratamento	N	P	K	
1	Sem	Sem	Sem	- Ausência dos 3 elementos
2	Com	Sem	Sem	
3	Sem	Com	Sem	- Presença de 1 dos 3 elementos
4	Sem	Sem	Com	
5	Com	Com	Sem	- Presença de 2 dos 3 elementos
6	Com	Sem	Com	
7	Sem	Com	Com	
8	Com	Com	Com	- Presença dos 3 elementos

A estrutura fatorial desse experimento é representada na **Figura 8.7** com todas as células preenchidas. Nesta Figura os dois níveis ausência e presença de cada um dos fatores são indicados pelas iniciais dos respectivos fatores (N, P, e K) com os subscritos 0 e 1, respectivamente.

	N ₀		N ₁	
	P ₀	P ₁	P ₀	P ₁
K ₀	×	×	×	×
K ₁	×	×	×	×

Figura 8.7. Representação da estrutura fatorial cruzada completa dos fatores experimentais N, P K, cada um com dois níveis, **Exemplo 8.42**.

O diagrama dessa estrutura fatorial é apresentado na **Figura 8.8**, nas versões sem (a) e com (b) consideração de fatores generalizados.

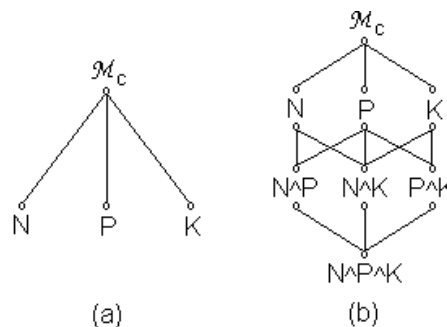


Figura 8.8. Diagrama da estrutura cruzada de 3 fatores experimentais N, P e K: $N \times P \times K$, sem (a) e com (b) consideração dos fatores generalizados, **Exemplo 8.42**.

O número das combinações de níveis de uma estrutura fatorial cruzada completa é o produto dos números de níveis dos fatores individuais; no presente exemplo, $2 \times 2 \times 2 = 8$. Por esta razão, uma estrutura fatorial cruzada completa com 3 fatores cada um em 2 níveis é designada uma **estrutura fatorial $2 \times 2 \times 2$** . De modo mais geral, uma estrutura fatorial com 3 fatores cada um com k níveis é uma **estrutura fatorial $k \times k \times k$** .

Exemplo 8.43

Experimento: "Avaliação do efeito da adição de antibiótico ao diluente do sêmen de touro sobre a taxa de concepção", com a consideração de três antibióticos: sulfanilamida, estreptomicina e penicilina, nas situações de presença e ausência.

Os tratamentos nesse experimento podem constituir uma de duas estruturas, conforme seja considerada a adição ao diluente do sêmen de apenas um dos antibióticos isoladamente ou, também, de mais de um antibiótico simultaneamente. Se é considerado o uso dos três antibióticos tanto isolada como simultaneamente e são escolhidas como condições experimentais as oito combinações de presença e ausência dos três antibióticos, as condições experimentais, no caso tratamentos, compreendem uma estrutura fatorial cruzada completa $2 \times 2 \times 2$, cujos tratamentos correspondem às 8 combinações dos 2 níveis de cada um dos três fatores (as mesmas listadas no **Exemplo 8.42** e representadas na **Figura 8.7**, com N, P e K agora substituídos pelas três substâncias). Se, entretanto, é considerada a utilização de cada antibiótico apenas isoladamente, o número de tratamentos reduz-se a 4, ou seja, aos três antibióticos isolados e um tratamento correspondente à ausência dos 3 antibióticos, ou seja, sem a adição de antibiótico ao diluente, que se constitui em um controle. Esses tratamentos são os 4 primeiros listados na **Tabela 8.3**, com os fatores N, P e K substituídos pelos três antibióticos sulfanilamida, estreptomicina e penicilina.

Na segunda situação, os tratamentos não constituem uma estrutura fatorial cruzada. A exclusão de um número apreciável das combinações de níveis da estrutura fatorial cruzada completa descaracteriza a estrutura fatorial, por não permitir inferências referentes a interações entre os antibióticos. De fato, nessas circunstâncias os 4 tratamentos são os níveis de um único fator - diluente, de modo que o experimento é unifatorial; esse fator é qualitativo específico estruturado.

De modo geral, uma estrutura fatorial é uma estrutura fatorial cruzada quando ela permite inferências referentes a interações dos fatores, o que demanda a presença de um número suficiente das combinações dos níveis dos fatores na amostra. Uma ilustração desse requerimento de uma estrutura fatorial cruzada é provida pelo **Exemplo 8.44**.

Exemplo 8.44

Reconsidere-se o experimento "Estudo da eficácia da utilização de acetato para a síntese do leite de cabra" do **Exemplo 8.19**. Os tratamentos desse experimento na amostra são: 1 - Prolactina 0,2 mg/kg de peso do animal, 2 - Dexametasona 0,2mg/kg, 3 - Prolactina 0,1mg/kg + Dexametasona 0,1mg/kg e 4 - Sem acetato (controle).

Esses quatro tratamentos são as combinações de presença e ausência das duas fontes de acetato: Prolactina e Dexametasona. Assim, à primeira vista, esses tratamentos podem aparentar uma estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores experimentais - Prolactina e Dexametasona, cada um em dois níveis: ausência e presença. Entretanto, a dose de presença de cada uma dessas substâncias difere entre a ausência e a presença da outra substância; por exemplo, a dose de Prolactina isolada é 0,2 mg/kg e combinada com Dexametasona é 0,1 mg/kg. De fato, nos 4 tratamentos tanto a Prolactina como a Dexametasona aparecem em três níveis: 0, 0,1 e 0,2 mg/kg, de modo que uma estrutura fatorial cruzada completa dessas duas substâncias como fatores experimentais demandaria $3 \times 3 = 9$ combinações de níveis. Entretanto, os tratamentos considerados são apenas 4 dessas 9 combinações que não permitem inferências referentes à interação entre Prolactina e Dexametasona. De fato, os quatro tratamentos considerados no experimento desse exemplo constituem os níveis de um único fator qualitativo específico estruturado (**Exemplo 8.19**).

O **Exemplo 8.44** ilustra a violação de uma propriedade essencial de uma estrutura fatorial cruzada: Em uma estrutura fatorial cruzada os níveis de um fator se repetem nas combinações com os diferentes níveis dos demais fatores.

É essencial a compreensão clara das estruturas de relação dos níveis dos fatores experimentais na população objetivo e na amostra. Essa compreensão pode ser facilitada pelas interpretações geométricas, que são definidas a seguir.

Na situação de estrutura unifatorial, a coleção dos níveis do fator experimental na população objetivo constitui o **espaço unifatorial da população objetivo**. A correspondente coleção dos níveis na amostra constitui o **espaço unifatorial da amostra**. Na situação de estrutura fatorial cruzada, o **espaço fatorial da população objetivo** é o conjunto das combinações de níveis dos fatores experimentais na população objetivo; o **espaço fatorial da amostra** é a correspondente coleção das combinações de níveis na amostra.

Na situação de uma estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores qualitativos específicos, o espaço fatorial da população objetivo e o espaço fatorial na amostra são um mesmo reticulado de pontos em um espaço de duas dimensões, ou seja, em um plano. O **Exemplo 8.45** fornece uma ilustração.

Exemplo 8.45

Seja o experimento: "Pesquisa de fontes e métodos de adubação fosfatada para o cultivo de soja" considerado no **Exemplo 8.41**. Os dois fatores experimentais fonte de fósforo e método de adubação são ambos fatores qualitativos específicos estruturados. Isso significa que os três níveis de cada um desses fatores na amostra são os próprios respectivos níveis sob consideração na população objetivo. Portanto, os nove tratamentos na amostra, que são o conjunto completo das nove combinações dos três níveis de cada um desses dois fatores experimentais, são as próprias combinações dos níveis dos dois fatores na população objetivo.

Portanto, essa estrutura fatorial cruzada completa 3×3 é o espaço fatorial da amostra que é o próprio espaço fatorial da população objetivo. Esses espaços fatoriais são representados graficamente na **Figura 8.9**.

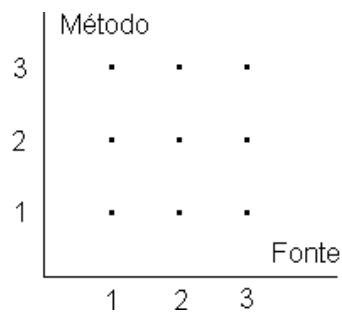


Figura 8.9. Espaços fatoriais da população objetivo e da amostra de uma estrutura fatorial cruzada completa 3x3, **Exemplo 8.45.**

Em uma estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores experimentais quantitativos, o espaço fatorial da população objetivo e o espaço fatorial da amostra são, respectivamente, uma região retangular contínua e um reticulado de pontos em um espaço de duas dimensões. Esses espaços fatoriais são ilustradas pelo **Exemplo 8.46.**

Exemplo 8.46

Experimento: "Fertilização do solo com nitrogênio e fósforo para o cultivo da cebola", com estrutura fatorial completa dos fatores nitrogênio e fósforo cujos níveis na população objetivo e na amostra são indicados na **Tabela 8.4.**

Tabela 8.4. Coleções dos níveis dos fatores experimentais nitrogênio e fósforo na população objetivo e na amostra, **Exemplo 8.46.**

Fator	Níveis (kg/ha)	
	População objetivo	Amostra
Nitrogênio	Intervalo [0, 120]	0, 60, 120
Fósforo	Intervalo [0, 90]	0, 45, 90

Os espaços fatoriais da população objetivo e da amostra são representados graficamente na **Figura 8.10.**

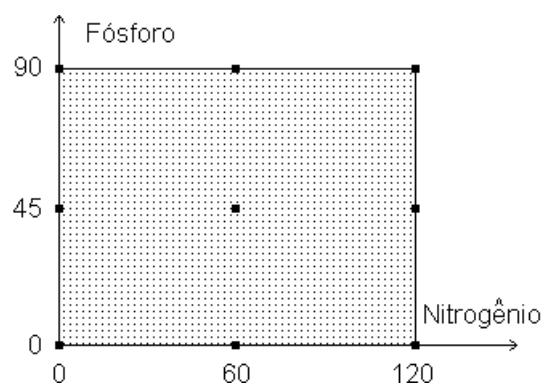


Figura 8.10. Espaços fatoriais da população objetivo (região sombreada) e da amostra (reticulado de pontos) do experimento do **Exemplo 8.46.**

Em geral, uma estrutura fatorial cruzada completa é altamente conveniente, por propiciar:

- a) mais simplicidade para inferências referentes a combinações de níveis e a efeitos separados de fatores;
- b) igual precisão para inferências para todos os pontos do espaço fatorial da população objetivo;
- c) ausência de confundimento de efeitos de fatores e de combinações de níveis de fatores; e
- d) derivação de inferências mais completas referentes a interações de fatores.

Estrutura fatorial cruzada incompleta ou fracionária

Em algumas situações, o número de fatores ou de níveis de fatores na amostra é muito elevado, o que implica que o número das combinações de níveis de uma estrutura fatorial cruzada completa seja demasiadamente grande. Assim, por exemplo, uma estrutura fatorial cruzada completa de 6 fatores cada um com 2 níveis compreende 64 combinações e de 4 fatores cada um com 3 níveis, 81 combinações. Esse número de combinações pode ser demasiado, desnecessário para a natureza da pesquisa e não apropriado para as condições sob as quais o experimento deve ser realizado. Nessas circunstâncias, é natural e necessária a busca de estruturas que compreendam apenas uma seleção apropriada das combinações de níveis da estrutura completa.

Uma estrutura fatorial cruzada que exclui uma ou mais combinações dos níveis de uma estrutura fatorial cruzada completa, mas que permite inferências referentes às interações dos fatores, é uma **estrutura fatorial cruzada incompleta** ou **fracionária**.

Assim, uma estrutura fatorial cruzada incompleta ou fracionária é um subconjunto de uma estrutura fatorial completa. Uma primeira ilustração é provida pelo **Exemplo 8.47**.

Exemplo 8.47

Experimento: "Efeito de diluentes do sêmen sobre a taxa de concepção na inseminação artificial de vacas leiteiras", com quatro fatores: A - Sulfanilamida, B - Estreptomicina, C - Penicilina e D - Substância tampão, todos com dois níveis; níveis dos primeiros três fatores: ausência e presença, e níveis do último fator: citrato e fosfato. Os tratamentos considerados na amostra são listados na **Tabela 8.5**, onde 0 e 1 representam ausência e presença da substância diluente para os três primeiros fatores, e as substâncias tampão citrato e fosfato para o quarto fator, respectivamente.

Tabela 8.5. Combinações dos níveis dos fatores experimentais sulfanilamida (A), estreptomicina (B), penicilina (C) e substância tampão (D) que constituem os tratamentos do experimento do **Exemplo 8.47**.

Tratamento	Fator			
	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	1	1	0	0
3	1	0	1	0
4	1	0	0	1
5	0	1	1	0
6	0	1	0	1
7	0	0	1	1
8	1	1	1	1

Os tratamentos deste experimento constituem a estrutura fatorial cruzada incompleta representada na **Figura 8.11**, que revela claramente a configuração das combinações de níveis selecionadas da estrutura fatorial cruzada completa.

		A ₀ ⋮ A ₁			
		B ₀	B ₁	B ₀	B ₁
C ₀	D ₀	×			×
	D ₁		×	×	

C ₁	D ₀		×	×	
	D ₁	×			×

Figura 8.11. Representação da estrutura fatorial cruzada incompleta do **Exemplo 8.47**.

Os tratamentos dessa estrutura fatorial cruzada fracionária compreendem a metade das $2^4 = 16$ combinações da estrutura fatorial cruzada completa de quatro fatores cada um com dois níveis. Essa fração do fatorial $2 \times 2 \times 2 \times 2$ é definida pela interação dos quatro fatores: A:B:C:D. Essa estrutura de tratamento não provê estimativa dessa interação e resultam confundidos os efeitos das seguintes interações parceiras de dois fatores: A:B = C:D, A:C = B:D e A:D = B:C.

Estruturas fatoriais cruzadas fracionárias são úteis especialmente em situações em que muitos fatores são relevantes e devem ser considerados simultaneamente em um experimento. Essa situação ocorre com certa freqüência na indústria e em estágios iniciais de pesquisa; no segundo caso quando pode ser conveniente um levantamento dos efeitos de muitos fatores com o propósito da identificação dos fatores mais importantes, para ulterior pesquisa mais detalhada de poucos fatores, possivelmente em experimentos separados. Nessas circunstâncias, estruturas fatoriais cruzadas fracionárias tornam praticável pesquisa que de outra forma seria inviável.

Uma estrutura fatorial cruzada fracionária implica confundimento de efeitos de fatores experimentais. Em tendo que adotar uma tal estrutura, o pesquisador deve escolher aquela que não confunda os efeitos de fatores experimentais que sejam importantes para os objetivos do experimento. Há técnicas apropriadas para a seleção de uma fração do conjunto das combinações dos níveis de uma estrutura fatorial cruzada completa. A técnica apropriada depende de cada situação; varia segundo os efeitos que o pesquisador está disposto a sacrificar para que os efeitos importantes não resultem confundidos.

Estruturas fatoriais cruzadas fracionárias, como as ilustradas no **Exemplo 8.47**, são derivadas do fato de que certas comparações entre tratamentos, freqüentemente correspondentes a interações de ordens elevadas, são irrelevantes. Essa situação ocorre em algumas áreas, como na indústria, onde condições ambientais são relativamente estáveis ao longo do tempo e pesquisas anteriores indicam ausência de relevância de certas interações. Em pesquisa biológica e em agricultura esses delineamentos, em geral, são pouco aplicáveis, em decorrência da grande variabilidade ambiental.

Para fatores com dois níveis, por exemplo, há uma série de estruturas fatoriais fracionárias com $1/2, 1/4, \dots$ das combinações de níveis da correspondente estrutura fatorial cruzada completa. Essas estruturas permitem inferências independentes referentes a certas comparações, a efeitos separados de fatores e a algumas interações de dois fatores. Entretanto, outras interações, usualmente de ordens elevadas, resultam confundidas. Isso implica que algumas comparações particulares ficam confundidas com uma ou mais outras comparações, de modo que se torna impossível separá-las. Comparações confundidas dessa maneira são denominadas **comparações parceiras**. De modo geral, tenta-se obter uma estrutura com um sistema de parceria tal que os efeitos

de maior interesse tenham como parceiras comparações muito provavelmente irrelevantes.

Para fatores com três níveis, podem ser construídas estruturas fracionárias correspondentes a $1/3$, $1/9$,... da estrutura fatorial cruzada completa, segundo o mesmo princípio.

A escolha das combinações de níveis para constituição de uma estrutura fatorial cruzada fracionária depende dos objetivos do experimento e, em geral, não é uma questão simples. Alguns textos provêm uma variada gama de estruturas apropriadas para as mais variadas situações particulares.

Metodologias para a escolha de "delineamentos ótimos" têm sido desenvolvidas particularmente para situações de fatores experimentais quantitativos. Nessas circunstâncias, em geral, o interesse reside no estabelecimento de uma função de resposta para representar a relação entre a variável resposta e a estrutura fatorial.

Estruturas fatoriais cruzadas incompletas para essas situações exploram o fato de que muito freqüentemente o interesse concentra-se mais especificamente em algum subespaço do espaço fatorial de interesse. Isso pode decorrer de informações providas por experimentos anteriores ou de outras fontes de informação. Nessas circunstâncias é desejável maior precisão para inferências nesse subespaço.

Estruturas fatoriais cruzadas incompletas para o ajustamento de superfícies de respostas com esse propósito têm sido bastante estudadas, são tratadas extensivamente na literatura e são expostas em alguns textos de estatística experimental. Uma família desses delineamentos compreende os delineamentos centrais compostos. Uma ilustração é provida pelo **Exemplo 8.48**.

Exemplo 8.48

Suponha-se que a estrutura fatorial do experimento do **Exemplo 8.46** é alterada pela omissão de 4 das 9 combinações de níveis, sendo incluídas na amostra apenas os tratamentos (0, 0), (0, 90), (60, 45), (120, 0) e (120, 90), onde cada tratamento é especificado pela indicação dos níveis dos fatores nitrogênio e fósforo, nessa ordem, entre parênteses.

Essa estrutura reduzida da estrutura fatorial completa 3^2 é representada na **Figura 8.12**.

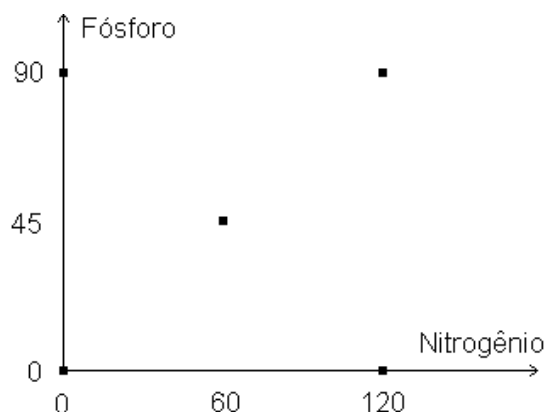


Figura 8.12. Estrutura fatorial cruzada fracionária resultante da omissão de quatro tratamentos da estrutura fatorial cruzada completa 3^2 do **Exemplo 8.46**.

A estrutura fatorial cruzada fracionária do **Exemplo 8.49** resulta de uma redução mais drástica dos tratamentos de uma estrutura fatorial cruzada completa.

Exemplo 8.49

Experimento: "Adubação com macroelementos para o cultivo de milho", com os três fatores N, P e K cada um com três níveis: 0, 1 e 2, com os tratamentos especificados na **Tabela 8.6**.

Tabela 8.6. Combinações de níveis dos fatores N, P e K, cada um com três níveis: 0, 1 e 2, que constituem os tratamentos do experimento do **Exemplo 8.49**.

Tratamento	N	P	K
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	1
5	1	1	1
6	2	1	1
7	1	2	1
8	1	1	2

Os tratamentos desse experimento constituem uma estrutura fatorial cruzada 3x3x3 incompleta representada na **Figura 8.13**. As 27 combinações dos níveis que corresponderiam a uma estrutura fatorial cruzada completa 3x3x3 foram reduzidas, convenientemente, de modo acentuado, a 8 combinações, que constituem os 8 tratamentos na amostra. Esse delineamento de condições experimentais foi adotado em uma série de experimentos conduzidos no Brasil pela "Associação Nacional para Difusão de Adubos" (ANDA), para a estimação de funções de resposta à adubação.

	N ₀			N ₁			N ₂		
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₀	P ₁	P ₂	P ₀	P ₁	P ₂
K ₀	×	×		×					
K ₁	×				×	×		×	
K ₂					×				

Figura 8.13. Os oito tratamentos de uma estrutura fatorial cruzada fracionária de três fatores experimentais cada um com três níveis, **Exemplo 8.49**.

Em geral, a escolha de uma estrutura fatorial cruzada incompleta está relacionada à estrutura das unidades de observação disponíveis. Assim, a estrutura do **Exemplo 8.48** com uma repetição para cada tratamento, exceto para o ponto central com n_1 repetições, é conhecida como um **delineamento de superfície de resposta simples**.

Estruturas fatoriais cruzadas incompletas também podem ocorrer quando algumas combinações dos níveis de uma estrutura fatorial cruzada completa não se distinguem ou não têm sentido. Essa situação é ilustrada pelo **Exemplo 8.50**.

Exemplo 8.50

Experimento; "Fertilização do solo com nitrogênio para o cultivo do arroz irrigado", com os seguintes dois fatores experimentais e correspondentes níveis: Nitrogênio: N₁ - 0 kg/ha, N₂ - 60 kg/ha, N₃ - 120 kg/ha; época de aplicação: E₁ - plantio, E₂ - cobertura, aos 30 dias.

Observe-se que as combinações de níveis N₁E₁ e N₁E₂ não se distinguem; constituem, de fato, um único tratamento. Logo, as $3 \times 2 = 6$ combinações de níveis que constituiriam uma estrutura fatorial cruzada completa são inevitavelmente reduzidas a 5.

Estrutura fatorial cruzada estendida

Na **Seção 8.6.4** considerou-se a inclusão de tratamentos referências em uma estrutura unifatorial. Esses tratamentos especiais, ou tratamentos referências, mais usualmente denominados controles, testemunhas ou padrões, podem ser importantes para servirem de termos de comparação para a avaliação dos efeitos dos demais tratamentos e de sua importância prática, e para prover a discriminação de possíveis efeitos de duas ou mais origens. Por semelhantes razões, pode ser importante estender uma estrutura fatorial cruzada com a adição de tratamentos referências. Uma ilustração é provida pelo **Exemplo 8.51**.

Exemplo 8.51

Experimento: "Adubação nitrogenada orgânica e química para o cultivo de arroz irrigado", com dois fatores experimentais. Fator 1: composto de azola; níveis na amostra: 1 - 4 t/ha, 2 - 7 t/ha, 3 - 14 t/ha; fator 2 – Nitrogênio; níveis na amostra: 1 - 0 kg/ha, 2 - 43,5 kg/ha. As condições experimentais são listados na **Tabela 8.7**.

Tabela 8.7. Estrutura fatorial cruzada estendida do experimento do **Exemplo 8.51**.

Tratamento	Composto de azola	N	
1	1	1	Esquema fatorial
2	1	2	
3	2	1	
4	2	2	
5	3	1	
6	3	2	
7	0	0 kg/ha	Tratamentos
8	0	87 kg/ha	adicionais

Essa é uma estrutura fatorial cruzada completa 3×2 com 2 tratamentos adicionais: à estrutura fatorial cruzada completa 3×2 constituída pelos 6 primeiros tratamentos são adicionados dois tratamentos - tratamentos 7 e 8. O tratamento 7 é incluído para avaliar a resposta (produção de grãos de arroz) da planta na ausência de adubação nitrogenada. Sua comparação com o conjunto dos seis primeiros tratamentos pode, por exemplo, explicar que uma ausência de diferenças de respostas entre esses 6 tratamentos resulta da ausência de resposta à adubação, possivelmente porque a reserva de nitrogênio no solo é suficiente. A razão da inclusão do tratamento 8 como referência não é tão clara. A quantidade de N do tratamento 8 corresponde à quantidade de N do tratamento 6, ou seja, da combinação dos níveis mais elevados dos dois fatores. Então, a comparação do tratamento 8 com o conjunto dos 6 primeiros tratamentos pode informar sobre possível maior eficiência da adubação nitrogenada mais elevada de fonte apenas química do que da adubação nitrogenada média de origem orgânica e química.

8.7.5 Estrutura fatorial hierárquica ou aninhada

Relações de dois fatores experimentais cruzadas são muito freqüentes. Essas são as relações mais comuns de fatores fixos. Entretanto, em muitas situações os níveis de um dos fatores não se repetem nas combinações com os níveis do outro fator:

A relação de dois fatores experimentais A e B na amostra é uma **relação fatorial hierárquica** ou **aninhada** se os níveis do fator B não se repetem nas combinações com níveis diferentes do fator A, ou seja, se os subconjuntos de níveis do fator B que se combinam com diferentes níveis do fator A não contém níveis em comum.

Diz-se, então, que o fator B é **aninhado** no fator A; o fator B é designado **fator aninhado** e o fator A, **fator ninho**.

Essa relação é simbolizada por A/B. Ao contrário da relação de cruzamento, a relação de aninhamento não é recíproca, ou seja, A/B não é equivalente a B/A. Nessa notação de aninhamento, o fator ninho precede o fator aninhado.

Relações de aninhamento podem ocorrer naturalmente ou serem impostas por razões específicas. Essas duas situações são ilustradas pelo **Exemplo 8.52**.

Exemplo 8.52

Ilustrações de ocorrências de relações de aninhamento naturais e impostas:

a) Em um experimento para pesquisa da qualidade da semente de soja em que são consideradas sementes das diversas procedências das regiões produtoras, as procedências das diferentes regiões são naturalmente distintas. Portanto, o fator experimental procedência é aninhado no fator experimental região.

b) Em experimentos com animais em que são utilizados diferentes animais para os diferentes tratamentos pela possibilidade de efeitos residuais de tratamentos, os animais aos quais são atribuídos os tratamentos são naturalmente distintos.

Relações hierárquicas ou aninhadas não permitem inferências referentes à interação dos fatores. Assim, quando o pesquisador tem escolha e a interação dos fatores é relevante, ele deve planejar estrutura fatorial cruzada.

Muito freqüentemente, fatores experimentais aleatórios são aninhados. Seus níveis na amostra são supostamente escolhidos aleatoriamente para representar a coleção dos níveis presentes na população objetivo. De fato, a relação de dois fatores experimentais A e B resulta hierárquica quando o fator B é aleatório e são escolhidas amostras de seus níveis da população objetivo, separada e independentemente, para assinalação de cada uma dessas amostras a um dos distintos níveis do fator A; ou se, alternativamente, os níveis do fator B são escolhidos da população objetivo e, então, assinalados aleatoriamente aos níveis do fator A. Em qualquer dessas circunstâncias, os níveis do fator B na amostra que se combinam com os diferentes níveis do fator A serão necessariamente distintos.

Exemplo 8.53

Considere-se um experimento para pesquisa do efeito da nutrição da ovelha matriz sobre o peso corporal do cordeiro ao desmame em que é desejado derivar inferências para todos as matrizes dos rebanhos de uma raça de uma região. Os dois fatores experimentais - dieta e ovelha matriz - são, respectivamente, fator fixo e fator aleatório. Uma amostra de ovelhas matrizes é escolhida da população objetivo e, então, essas ovelhas são assinaladas aleatoriamente aos níveis do fator dieta. Assim, o fator experimental ovelha é aninhado no fator dieta.

Observe-se que um fator aninhado nessas circunstâncias é um fator experimental (nesse caso, fator experimental intrínseco) se inferências referentes a esse fator forem relevantes. Em muitos experimentos há fatores aninhados que não são relevantes para os objetivos do experimento. Nesse caso, esse fator não deve ser considerado fator experimental, mas fator de unidade (**Seção 10.3**).

Menos freqüentemente ocorrem relações aninhadas de fatores experimentais fixos. Esse é o caso, por exemplo, dos fatores fornecedor e componente de um equipamento

quando os fornecedores provêm diferentes componentes. Nessas circunstâncias, como os componentes supridos pelos diferentes fornecedores são distintos, tem-se, de fato, um conjunto de componentes diferentes.

Em muitas situações fatores fixos com relação aparentemente aninhada devem ser considerados mais apropriadamente como um único fator cujos níveis são as combinações dos níveis desses dois fatores. Por exemplo, na situação ilustrada anteriormente, pode ser mais conveniente considerar um único fator fornecedor-componente cujos níveis são os componentes supridos pelos diversos fornecedores.

Em situações pouco comuns pode haver interesse no efeito global do fator que parece ser aninhado e, portanto, em considerar as condições experimentais como combinações dos níveis de dois fatores experimentais. O **Exemplo 8.54** provê ilustração de um experimento em que pode haver razão para considerar os níveis na amostra como um único fator experimental misto, ou uma estrutura de dois fatores experimentais fixos, aninhada ou cruzada.

Exemplo 8.54

Considere-se um experimento para pesquisa do controle de uma praga de uma espécie vegetal cultivada com dois inseticidas A e B fabricados por duas diferentes indústrias que os recomendam nas doses d_A e d_B , respectivamente, supostamente diferentes. Os níveis escolhidos para a amostra são: 1 - $\frac{1}{2} d_A$, 2 - $1 d_A$, 3 - $2 d_A$, 4 - $\frac{1}{2} d_B$, 5 - $1 d_B$ e 6 - $2 d_B$.

Como as doses recomendadas d_A e d_B são diferentes, as três doses do inseticida A são, de fato, quantidades diferentes das correspondentes às três doses do inseticida B. Isso significa que os seis tratamentos podem ser alternativamente considerados como compreendendo uma das duas estruturas de condições experimentais:

a) estrutura unifatorial mista com seis níveis, resultante da aglutinação das três diferentes quantidades de cada um dos dois inseticidas A e B: níveis 1 - $\frac{1}{2} d_A$, 2 - $1 d_A$, 3 - $2 d_A$, 4 - $\frac{1}{2} d_B$, 5 - $1 d_B$ e 6 - $2 d_B$;

b) estrutura hierárquica de dois fatores experimentais: inseticida e dose, o primeiro fator com dois níveis: inseticida A e inseticida B e o segundo com seis níveis: 1 - $\frac{1}{2} d_A$, 2 - $1 d_A$, 3 - $2 d_A$, 4 - $\frac{1}{2} d_B$, 5 - $1 d_B$ e 6 - $2 d_B$, com o fator dose aninhado no fator inseticida.

De fato, esses dois enfoques são equivalentes e correspondem a um dos seguintes objetivos de inferências: a) comparação global dos inseticidas A e B, ajustamento de função de resposta para o inseticida A e ajustamento de função de resposta para o inseticida B.

Suponha-se, entretanto, que as quantidades específicas correspondentes às doses particulares não são relevantes e que as doses d_A e d_B significam dose regular, as doses $\frac{1}{2} d_A$ e $\frac{1}{2} d_B$, dose baixa, e $2d_A$ e $2 d_B$, dose alta. Com esse enfoque e correspondente notação, as condições experimentais passam a constituir a seguinte estrutura de condições experimentais:

c) estrutura cruzada de dois fatores experimentais: inseticida e dose, o primeiro fator com dois níveis: inseticida A e inseticida B, e o segundo com três níveis: dose baixa, dose regular e dose alta.

Agora, os objetivos de inferências passam a ser os efeitos individuais e a interação dos dois fatores experimentais inseticida e dose.

O **Exemplo 8.54** ilustra um aparente dilema, já que uma estrutura de condições experimentais não pode ser ao mesmo tempo aninhada e cruzada. Esse dilema é crucial, visto que as inferências derivadas do experimento dependem da pressuposição adotada. Se essa pressuposição não for apropriada para os objetivos do experimento, a interpretação dos resultados será incorreta. Em um experimento bem planejado esse dilema é resolvido no planejamento do experimento, quando os objetivos do experimento e os correspondentes procedimentos de inferências apropriados para a consecução desses objetivos são estabelecidos explicitamente.

O conceito de relação de aninhamento ou relação hierárquica é estendido para mais de dois fatores experimentais. Por exemplo, a notação de uma relação hierárquica de três fatores C/B/A significa que o fator A é aninhado no fator B e este, por sua vez, é aninhado no fator C, ou seja, B/A e C/B. Dessa forma, por definição, a relação de aninhamento é transitiva, em contraste com a relação de cruzamento, pois $A*B$ e $B*C$ não assegura $A*C$.

Define-se estrutura fatorial hierárquica ou aninhada para qualquer número de fatores como segue:

Uma **estrutura fatorial hierárquica** ou **aninhada** é uma estrutura de fatores experimentais com relação fatorial hierárquica ou aninhada entre todos os pares desses fatores.

Em uma estrutura fatorial hierárquica o fator que é ninho para todos os demais fatores é o fator de maior hierarquia; o fator que é aninhado em todos os demais fatores é o fator de menor hierarquia. Por exemplo, em uma estrutura hierárquica de três fatores A, B e C em que A é fator ninho pra B e B é fator ninho para C, A é o fator de hierarquia mais elevada e C o fator de hierarquia mais baixa.

Estruturas fatoriais hierárquicas podem ser representadas por tabelas à semelhança de estruturas fatoriais cruzadas. Entretanto, como os níveis de fatores aninhados são distintos para níveis diferentes de fatores ninhos, grande parte das células não são preenchidas. Por exemplo, uma estrutura fatorial hierárquica de dois fatores A e B em que A é o fator ninho com 3 níveis e B o fator aninhado com 4 níveis compreende as seguintes condições experimentais: A_1B_1 , A_1B_2 , A_1B_3 , A_1B_4 , A_2B_5 , A_2B_6 , A_2B_7 , A_2B_8 , A_3B_9 , A_3B_{10} , A_3B_{11} e A_3B_{12} . Essa estrutura fatorial é representada na **Figura 8.14**.

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	B ₁₁	B ₁₂
A ₁	×	×	×	×								
A ₂					×	×	×	×				
A ₃									×	×	×	×

Figura 8.14. Estrutura fatorial cruzada completa de dois fatores A e B, respectivamente com 3 e 4 níveis.

Genericamente, uma estrutura fatorial hierárquica é simbolizada pelos símbolos dos fatores intercalados por um "/" com fatores ninhos à esquerda de fatores aninhados. Por exemplo, uma estrutura fatorial hierárquica de dois fatores experimentais A e B em que A é o fator ninho e B é o fator aninhado é simbolizada por A/B. O diagrama de Hasse dessa estrutura compreende dois ramos consecutivos: um ramo com origem no nóculo M_c e extremidade no nóculo que representa o fator ninho (A), abaixo do nóculo M_c , e um ramo com origem no nóculo do fator ninho e extremidade no nóculo que representa o fator aninhado (B). O diagrama dessa estrutura hierárquica de dois fatores é apresentado na **Figura 8.15**, sem (a) e com (b) o fator generalizado.

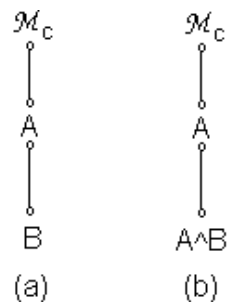


Figura 8.15. Diagrama da estrutura hierárquica de dois fatores experimentais A/B, sem (a) e com (b) o fator generalizado.

De modo geral, o diagrama de uma estrutura fatorial hierárquica compreende tantos ramos quantos são os fatores experimentais, conectados sucessivamente a partir do nó M_c . O ramo que corresponde ao fator de hierarquia mais elevada tem origem no nó M_c e extremidade no nó que o representa, abaixo de M_c ; os ramos correspondentes aos demais fatores têm origem na extremidade do fator de hierarquia imediatamente mais elevada e extremidade no nó que o representa.

O número de condições experimentais de uma estrutura hierárquica é igual ao número de níveis distintos do fator de hierarquia mais baixa. Por exemplo, a estrutura fatorial hierárquica dos dois fatores A e B em que A é o fator ninho com 3 níveis e B o fator aninhado com 4 níveis (**Figura 8.14.**) compreende 12 condições experimentais.

Em uma estrutura fatorial hierárquica A/B os subconjuntos dos níveis do fator B que se combinam com os diferentes níveis do fator A podem ser do mesmo tamanho, ou de tamanhos diferentes. No primeiro caso, diz-se que a estrutura fatorial hierárquica A/B é balanceada; no segundo caso, que ela é não balanceada.

Estrutura fatorial hierárquica balanceada

Uma estrutura fatorial hierárquica B/A em que os subconjuntos dos níveis do fator B que se combinam com níveis diferentes do fator A têm o mesmo tamanho é uma **estrutura fatorial hierárquica balanceada**.

Esse conceito de estrutura fatorial hierárquica estende-se para qualquer número de fatores experimentais como segue:

Uma estrutura fatorial hierárquica em que para cada um dos fatores aninhados os subconjuntos dos níveis que se combinam com os diferentes níveis do correspondente fator ninho têm o mesmo tamanho é uma **estrutura fatorial hierárquica balanceada**.

Os dois exemplos que seguem apresentam ilustrações de estrutura fatorial hierárquica balanceada.

Exemplo 8.55

Experimento: “Efeito do teor de energia da dieta da porca matriz da raça Duroc sobre o peso do leitão ao desmame”; fator experimental 1: dieta; níveis na amostra: 1 - 2500 kcal/dia, 2 - 2750 kcal/dia, 3 - 3000 kcal/dia; fator experimental 2: porca matriz; níveis na amostra: 1 - porca 1, 2 - porca 2, ..., 12 - porca 12. São escolhidas doze porcas supostas representativas das matrizes da raça Duroc que são assinaladas aleatoriamente às três dietas, quatro porcas por dieta.

Neste experimento dieta é fator fixo e porca é fator aleatório. Os níveis do fator experimental porca que se combinam com níveis diferentes do fator experimental dieta são distintos. Portanto, essa é uma estrutura fatorial hierárquica ou aninhada de dois fatores, em que dieta é o fator ninho e porca o fator aninhado. Denotando os fatores experimentais dieta e porca por A e B, respectivamente, a representação tabular dessa estrutura fatorial é a mesma da **Figura 8.14** e a representação por diagrama de Hasse é a mesma da **Figura 8.15**.

A **Figura 8.16** mostra a hierarquia dos fatores dieta e porca: o fator dieta situa-se no nível de hierarquia mais elevado. As 12 condições experimentais correspondem aos 12 pares dos níveis dos fatores dieta e porca que são conectados por segmentos de reta. Observe-se que os níveis do fator aninhado porca que se conectam com níveis diferentes do fator ninho dieta são diferentes.

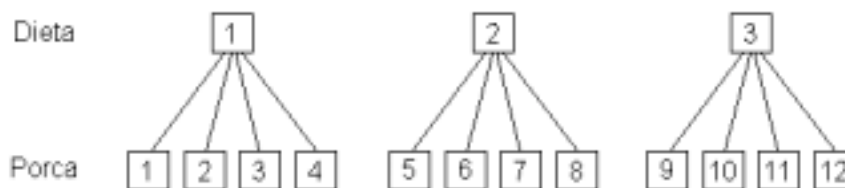


Figura 8.16. Estrutura fatorial aninhada (hierárquica) dos fatores experimentais dieta e porca matriz do experimento do **Exemplo 8.55**.

Exemplo 8.56

Considere-se um experimento em genética em que cada um de 2 touros é acasalado com 3 vacas diferentes e de cada acasalamento resulta uma progênie de 2 terneiros. As vacas acasaladas com os dois touros são diferentes e os terneiros (progênie) de uma vaca são diferentes daqueles das outras vacas. Isso significa que o fator vaca é aninhado no fator touro e o fator progênie é aninhado no fator vaca. A representação tabular dessa estrutura fatorial hierárquica é mostrada na **Figura 8.17**.

		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
T ₁	V ₁	×	×										
	V ₂			×	×								
	V ₃					×	×						
T ₂	V ₁							×	×				
	V ₂									×	×		
	V ₃											×	×

Figura 8.17. Representação tabular da estrutura fatorial hierárquica dos fatores touro, vaca e progênie, **Exemplo 8.56**.

Essa estrutura fatorial hierárquica é simbolizada por T/V/P. Seu diagrama de estrutura é mostrado na **Figura 8.18**.

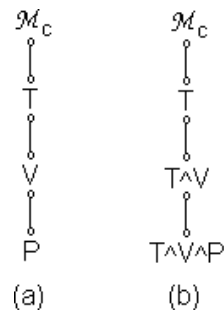


Figura 8.18. Diagrama da estrutura hierárquica de três fatores experimentais touro (T), vaca (V) e progênie (P): T/V/P, **Exemplo 8.56.**

A **Figura 8.19** mostra a hierarquia dos três fatores touro, vaca e progênie: o fator touro situa-se no nível de hierarquia mais elevado, seguido dos fatores vaca e progênie, respectivamente no segundo e terceiro nível. As 12 condições experimentais correspondem às 12 linhas segmentadas que conectam os 2 touros com as 12 progênies.

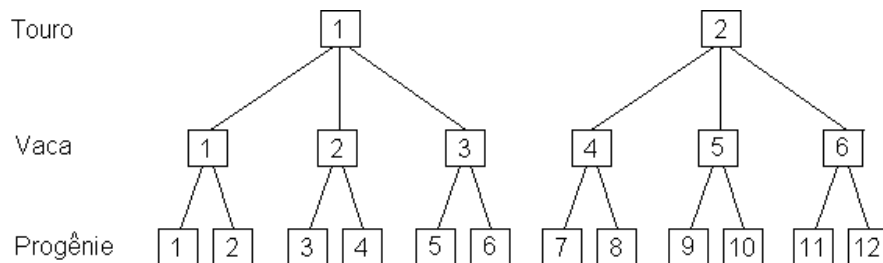


Figura 8.19. Estrutura fatorial aninhada de um experimento em genética com três fatores experimentais: touro, vaca e progênie (**Exemplo 8.56**).

Estrutura fatorial hierárquica não balanceada

Uma estrutura fatorial hierárquica A(B) em que os subconjuntos dos níveis do fator B que se combinam com os diferentes níveis do fator A não têm o mesmo número de níveis é uma **estrutura fatorial hierárquica não balanceada**.

Esse conceito de estrutura fatorial hierárquica estende-se para qualquer número de fatores experimentais como segue:

Uma estrutura fatorial hierárquica em que os subconjuntos dos níveis de um dos fatores aninhados que se combinam com os diferentes níveis do correspondente fator ninho não têm o mesmo número de níveis é uma **estrutura fatorial hierárquica não balanceada**.

Para ilustração suponha-se que são disponíveis para o experimento do **Exemplo 8.55** apenas onze porcas e que são assinaladas quatro porcas a cada uma das dietas 1 e 2, mas apenas três porcas à dieta 3. Com essa alteração o número de porcas que se combinam com as dietas não é igual para as três dietas. Portanto, agora se tem uma estrutura fatorial hierárquica não balanceada. Semelhantemente, se no experimento considerado no **Exemplo 8.56** são acasaladas apenas duas vacas com o touro 2, ou a progênie da vaca 3, acasalada com o touro 1, é constituída de apenas um terneiro, a estrutura fatorial do experimento será hierárquica não balanceada

8.7.6 Estrutura fatorial mista

Em um experimento com três ou mais fatores experimentais, pode haver relações cruzadas e aninhadas entre os pares de fatores. Uma estrutura nessas circunstâncias é dita mista:

Uma **estrutura fatorial mista** é uma estrutura fatorial de três ou mais fatores experimentais em que há relações de fatores cruzadas e hierárquicas.

Estrutura fatorial mista constitui uma combinação de estrutura fatorial cruzada e estrutura fatorial aninhada. Por exemplo, uma estrutura de 3 fatores A, B e C em que o fator C é aninhado nos fatores A e B que são cruzados é uma estrutura fatorial mista. Essa estrutura é simbolizada por $(A*B)/C$ e representada pelo diagrama da **Figura 8.20**.

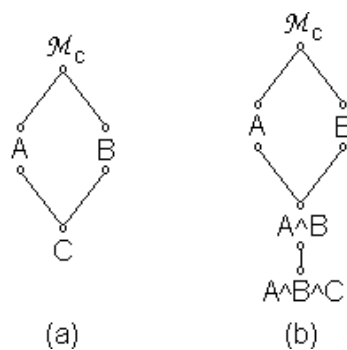


Figura 8.20. Diagrama da estrutura mista de três fatores A, B e C: $(A*B)/C$.

Uma estrutura fatorial mista pode resultar da associação de uma das diversas classes de cada uma das estruturas fatoriais cruzada e hierárquica. Assim estruturas fatoriais mistas compreendem:

- estrutura fatorial mista completa balanceada,
- estrutura fatorial mista completa não balanceada,
- estrutura fatorial mista incompleta balanceada e
- estrutura fatorial mista incompleta não balanceada.

O **Exemplo 8.57** apresenta uma ilustração de estrutura fatorial mista completa balanceada.

Exemplo 8.57

Experimento: “Efeito do teor de energia da dieta e da idade da ovelha matriz sobre o peso do cordeiro ao desmame”; fator experimental 1: Dieta; níveis na amostra: 1 - 2500 kcal/dia, 2 - 2750 kcal/dia, 3 - 3000 kcal/dia; fator experimental 2: Idade; níveis na amostra: 1 - 2 dentes, 2 - 4 dentes, 3 - 6 dentes; fator experimental 3: Ovelha matriz; níveis na amostra: 1 - ovelha 1, 2 - ovelha 2,..., 36 - ovelha 36. São usadas no experimento 12 amostras de ovelhas supostas representativas de cada um dos 3 níveis do fator experimental idade. As 12 ovelhas de cada um desses níveis de idade são atribuídas aleatoriamente às 3 dieta, de modo a resultar 4 ovelhas para cada dieta.

Nesse experimento os fatores experimentais dieta e idade são fixos e o fator ovelha é aleatório. Estão presentes na amostra as 9 combinações dos 3 níveis do fator dieta com os 3 níveis do fator idade, e as ovelhas associadas com combinações de dieta e idade diferentes são distintas. Assim, os fatores dieta e idade são cruzados, e o fator ovelha é aninhado em ambos

fatores dieta e idade. Essa estrutura mista dos três fatores idade, dieta e ovelha é mostrada na **Figura 8.21**.

		Ovelha																
Idade	Dieta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	33	34	35	36
1	1	x	x	x	x													
1	2					x	x	x	x									
1	3									x	x	x	x					
...	...																	
3	3														x	x	x	x

Figura 8.21. Estrutura fatorial mista dos fatores experimentais dieta, idade e ovelha matriz: (Idade*Dieta)/Ovelha, **Exemplo 8.57**.

Essa estrutura fatorial mista tem a mesma representação por diagrama de Hasse da **Figura 8.20**, onde A, B e C denotam, respectivamente, os fatores Idade, dieta e ovelha.

Os dois exemplos que seguem provêm outras duas ilustrações de estrutura fatorial mista.

Exemplo 8.58

Para verificar a existência de diferenças de aprendizagem de cobaias entre sexos, um pesquisador administra dois testes a cada um de doze machos e doze fêmeas selecionados aleatoriamente. Os dois testes são aplicados a cada animal em ordem aleatória e, supostamente, não há efeito de aprendizagem entre os dois testes.

Esse experimento compreende três fatores experimentais: sexo, teste e animal. Claramente, sexo é um fator com dois níveis, assim como também teste, e esses dois fatores são cruzados. Observe-se, entretanto, que são utilizados vinte e quatro animais, dos quais doze são machos e doze fêmeas; cada animal é submetido aos dois testes, o que significa que animal e teste são fatores cruzados; mas, como os machos são animais diferentes das fêmeas, o fator animal é aninhado no fator sexo.

Assim, o fator animal (A) é aninhado no fator sexo (S) e esses dois fatores são cruzados como fator teste (T). Portanto, essa estrutura fatorial mista é simbolizada por (Sexo/Animal)*Teste. Ela é representada pelo diagrama da **Figura 8.22**.

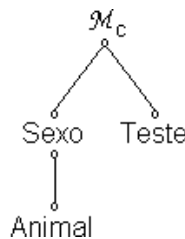


Figura 8.22. Estrutura fatorial mista dos três fatores experimentais sexo, teste e animal: (Sexo/Animal)*Teste, **Exemplo 8.58**.

Exemplo 8.59

Considere-se o experimento de que trata o exemplo anterior, mas suponha-se que o pesquisador tema que possa haver aprendizagem entre os dois testes. Nessas circunstâncias, deve ser aplicado a cada animal apenas um teste. Para manter o mesmo tamanho do experimento, o pesquisador decide utilizar vinte e quatro machos e vinte e quatro fêmeas; selecionar aleatoriamente 12 machos para aplicação do teste 1 e os outros 12 machos para o

teste 2; e selecionar aleatoriamente 12 fêmeas para receberem o teste 1 e as demais 12 fêmeas para o teste 2.

Esse experimento tem uma estrutura de fatores experimentais diferente, embora também compreenda os mesmos três fatores experimentais: sexo, teste e animal. Claramente, o fator animal é aninhado no fator sexo já que um animal não pode ser ambos macho e fêmeo. Por outro lado, agora cada animal recebe apenas um teste, de modo que o fator animal também é aninhado no fator teste. Nessas circunstâncias, o fator animal é aninhado em ambos fatores sexo e teste, que são fatores cruzados.

Essa estrutura fatorial mista é simbolizada por (Sexo*Teste)/Animal e tem a mesma representação por diagrama da **Figura 8.20** com A, B e C simbolizando os fatores experimentais sexo, teste e animal, respectivamente.

Exercícios 8.4

1. Explique e ilustre o significado de relação fatorial cruzada de dois fatores experimentais.
2. Qual é a propriedade essencial de uma estrutura fatorial cruzada?
3. Descreva e ilustre a distinção básica entre estrutura fatorial cruzada completa e estrutura fatorial cruzada incompleta.
4. Explique e exemplifique o significado de interação de dois fatores experimentais.
5. Sugira uma alteração da relação dos tratamentos do **Exemplo 8.44** que torne a lista dos quatro tratamentos uma estrutura fatorial completa de dois fatores cada um com dois níveis.
6. Em que situações pode ser justificável ou aconselhável uma estrutura fatorial cruzada incompleta? Ilustre essas situações.
7. Qual é o significado de efeitos parceiros em uma estrutura fatorial cruzada fracionária?
8. Considere um experimento para pesquisa da fertilização do solo com fósforo para cultivo da soja com os dois seguintes fatores experimentais cada um com três níveis: fator 1 - Fosfato de Olinda; níveis - 0, 60 e 120 kg/ha de P_2O_5 ; fator 2 - modo de adubação - a lanço, no sulco junto à semente e em sulco próximo à semente.
 - a) Liste as nove combinações dos níveis desses dois fatores experimentais.
 - b) Essas combinações de níveis constituem uma estrutura fatorial cruzada (completa) apropriada para o experimento?
 - c) Caso a resposta ao item b) seja negativa, indique uma alteração na lista das combinações de níveis indicada na resposta ao item a) para constituir os tratamentos apropriados para esse experimento.
 - d) Qual é a classe de estrutura fatorial a que corresponde a lista das combinações de níveis resultante da alteração indicada na resposta ao item c)?
9. Como se origina uma estrutura fatorial cruzada estendida? Explique recorrendo a um exemplo de sua área.
10. Explique e ilustre com exemplo de sua área estrutura fatorial hierárquica.
11. Qual é a propriedade básica referente a inferências que distingue estrutura fatorial cruzada de estrutura fatorial hierárquica?
12. Considere um experimento para pesquisa dos efeitos de método de treinamento de cobaias para a execução de uma tarefa (M) e tempo após treinamento (T) em que os animais executam a tarefa (A). Supostamente, esses animais são representativos de uma população de cobaias.
 - a) Identifique a estrutura das condições experimentais para esse experimento com três fatores experimentais: M, T e A para cada um dos seguintes procedimentos:
 - 1 - cada animal é submetido a cada um dos métodos de treinamento e é avaliado em todos os tempos;
 - 2 - cada animal é submetido a apenas um dos métodos de treinamento e é avaliado em todos os tempos; e

3 - cada animal é submetido a apenas um dos métodos de treinamento e é avaliado em apenas um dos tempos.

Para cada um desses procedimentos:

- b) expresse o símbolo da estrutura dos fatores experimentais para cada um desses procedimentos alternativos.
- c) represente cada uma dessas estruturas por um diagrama de Hasse.

13. Suponha que está sendo planejado um experimento para pesquisa do efeito de um anestésico em tecido ferido de ratos de laboratório. Os fatores em consideração são: material injetado (A) com 2 níveis: anestésico e solução salina; dias após a injeção (T) com 3 níveis: 1 dia, 5 dias e 15 dias; linhagem de rato (L) com 2 níveis: linhagem 1 e linhagem 2; e dose do anestésico (D) com 2 níveis: baixa e alta. Para economia de animais será adotado o procedimento de selecionar uma dose e injetar o anestésico em uma perna e a solução salina na outra. Serão utilizados 72 ratos, 6 dos quais para cada combinação de dia, linhagem de rato e dose de anestésico.

- a) Descreva a estrutura das condições experimentais.
- b) Expresse o símbolo da estrutura dos fatores experimentais.
- c) Represente essa estrutura por um diagrama de Hasse.

14. Ilustre estrutura fatorial de fatores experimentais mista através de um exemplo de sua área. Indique o símbolo dessa estrutura fatorial e a represente por um diagrama de Hasse.

8.8 Delineamento de Tratamento em Experimentos em Genética

Em pesquisas referentes à herança, o pesquisador deve escolher os pais e os cruzamentos (tratamentos) apropriados. Para o estudo de dominância mendeliana simples em plantas, os dois pais P_1 e P_2 e o cruzamento $F_1 = P_1 \times P_2$ são suficientes. Entretanto, se também for desejado saber se são envolvidos um ou dois ou três pares de alelos independentes, será necessário incluir outros tratamentos, tal como a progênie $F_2 = F_1 \times F_1$. A razão de segregação nos indivíduos F_2 indicará o número e natureza dos pares alélicos.

O número de tratamentos necessários para avaliar características referentes à herança cresce na medida em que a forma de herança se torna mais complexa. Ademais, na medida em que cresce o número de gerações de um cruzamento, o número de cruzamentos possíveis cresce rapidamente. Por exemplo, as possibilidades para as gerações 0, 1, 2 e 3 são apresentadas na **Tabela 8.8**.

Tabela 8.8. Cruzamentos possíveis para as gerações 0, 1, 2 e 3 a partir de dois pais.

Geração (k)	Cruzamentos possíveis	Número de cruzamentos
0	P_1, P_2	2
1	$P_1, P_2, F_1 = P_1 \times P_2$	3
2	$P_1, P_2, F_1, F_2 = F_1 \times F_1, B_1 = F_1 \times P_1, B_2 = F_1 \times P_2$	6
3	$P_1, P_2, F_1, F_2, B_1, B_2, P_1 \times F_2, P_1 \times B_1, P_1 \times B_2, P_2 \times F_2, P_2 \times B_1, P_2 \times B_2, F_1 \times F_2, F_1 \times B_1, F_1 \times B_2, F_2 \times F_2, F_2 \times B_1, F_2 \times B_2, B_1 \times B_1, B_1 \times B_2, B_2 \times B_2$	21

Como o número de cruzamentos cresce muito rapidamente, o pesquisador deve selecionar um subconjunto desses cruzamentos. Os cruzamentos apropriados dependem do tipo da herança e do propósito da pesquisa.

Em pesquisas de melhoramento genético para geração de novas cultivares, o delineamento genético deve incluir controles apropriados. Vários tipos de controle podem ser necessários e devem ser cuidadosamente escolhidos para a avaliação de novas variedades.

Um tipo importante de delineamento de tratamento genético é o sistema de cruzamento dialélico para descrever os cruzamentos de p linhas, como, por exemplo, variedades de uma espécie vegetal cultivada ou raças de uma espécie animal. Algumas dessas estruturas de tratamentos são apresentadas na **Tabela 8.9** para $p=5$ linhas.

Tabela 8.9. Delineamentos para cruzamentos dialélicos de 5 linhas.

Linha Feminina	Delineam. I Linha masculina					Delineam. II Linha masculina					Delineam. III Linha masculina					Delineam. IV Linha masculina				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	x	x	x
3	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-	x	x
4	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	x
5	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-

Na **Tabela 8.9**, x denota presença de cruzamento e $-$ denota ausência de cruzamento na estrutura de tratamentos.

De modo geral, a estrutura do delineamento I inclui todas as combinações possíveis, que corresponde a um fatorial completo p^2 . As outras estruturas são frações desse fatorial completo. O delineamento II inclui $p(p+1)/2$ combinações - os "puros" (cruzamento de uma linha com ela própria) e todos os cruzamentos possíveis. O delineamento III inclui $p(p-1)$ combinações - todos os cruzamentos possíveis das p linhas e todos os cruzamentos recíprocos possíveis; por exemplo, se a linha 1 é a fêmea e é cruzada com a linha 2 como macho, então o cruzamento recíproco é a linha 1 como

macho cruzada com a linha 2 como fêmea. O delineamento IV inclui $p(p-1)/2$ combinações - todos os cruzamentos possíveis.

O **Exemplo 8.60** ilustra uma aplicação do delineamento dialélico II.

Exemplo 8.60

Experimento: "Capacidades geral e específica de combinação em cruzamentos de cultivares de feijão", com a consideração de 4 cultivares pais: Pampa, Minuano, Rio Tibagi e Macotaço e um conjunto da geração F_1 dos cruzamentos simples dessas cultivares. Os tratamentos nesse experimento são os listados na **Tabela 8.10**.

Tabela 8.10. Tratamentos de um experimento genético para pesquisa das capacidades geral e específica de combinação em cruzamentos de cultivares.

Tratamento	Pai 1		Pai 2
1	Pampa	x	Pampa
2	Minuano	x	Minuano
3	Tio Tibagi	x	Rio Tibagi
4	Macotaço	x	Macotaço
5	Pampa	x	Minuano
6	Pampa	x	Rio Tibagi
7	Pampa	x	Macotaço
8	Minuano	x	Rio Tibagi
9	Minuano	x	Macotaço
10	Rio Tibagi	x	Macotaço

Esse experimento tem como objetivo pesquisar as características das 4 cultivares através de sua descendência resultante de cruzamentos simples. Experimentos genéticos desse tipo são usualmente denominados **experimentos dialélicos simples**. O conjunto de tratamentos compreende os progenitores e os cruzamentos simples, ou seja, $4 + \frac{1}{2}4 \times 3 = 10$ tratamentos. De

modo geral, uma estrutura dialélica simples desse tipo com p progenitores compreende $\frac{1}{2}p(p+1)$ tratamentos.

Essas estruturas têm sido utilizadas em muitas outras aplicações. Por exemplo, o delineamento I tem sido usado para pesquisas de competição de cultivares; nessas circunstâncias, os "puros" correspondem a plantas de uma cultivar em competição com plantas da mesma cultivar. O delineamento II tem sido usado para a comparação de misturas de cultivares para verificar se podem ser obtidos rendimentos mais elevados de misturas do que de uma cultivar plantada sozinha.

8.9 Delineamento de Tratamento em Experimentos Seqüenciais

Em algumas situações, a pesquisa experimental é seqüencial, com o próprio plano estabelecendo a seleção dos tratamentos com base no conhecimento dos resultados de etapas anteriores. Esse é o caso, por exemplo, se o objetivo do experimento é atingir uma certa meta, tal como: a dose de um inseticida que mata uma determinada porcentagem de uma praga e a combinação de fertilizantes que produza a resposta

máxima da planta. A pressuposição nesses experimentos é que o resultado desejado é produzido por uma única dose ou combinação de doses.

Um dos métodos seqüenciais mais conhecidos é o denominado método "up-and-down". Como ilustração, considere-se a estimação da dose para matar uma certa percentagem de um inseto, por exemplo, 57 por cento. Amostras de insetos de um determinado tamanho são usadas em seqüência. Uma dose inicial baseada na experiência existente é adotada em uma primeira etapa, registrando-se o número de insetos mortos. Se a percentagem de insetos mortos é inferior a 50, a dose é aumentada na próxima etapa; caso contrário, a dose é diminuída. Esse processo continua, até que a percentagem de morte oscile em torno do nível desejado, no caso 57 por cento, diferindo deste por um valor inferior a um mínimo preestabelecido.

Exercícios de Revisão

1. Quais são as implicações da caracterização de um fator experimental como fator de tratamento ou fator intrínseco quanto às inferências derivadas para a população objetivo?
2. Explique e ilustre os conceitos de tratamento e condição experimental.
3. Porque experimentos com um fator de estágio são denominados experimentos de observações repetidas?
4. O que significa experimento de observações (ou medidas) repetidas? Ilustre com exemplo de sua área.
5. Semana é freqüentemente considerado um fator experimental. Exemplifique circunstâncias em que semana deva ser considerado um fator fixo e em que deva ser considerado um fator aleatório.
6. Explique porque em experimentos de ampla abrangência usualmente considera-se um fator experimental de tempo ou um fator experimental de espaço, ou ambos.
7. Considere um experimento do efeito do tempo de armazenamento da semente sobre a qualidade fisiológica da semente em que são feitas avaliações periódicas ao longo do período experimental. Descreva dois planos alternativos, um dos quais implique um experimento de medidas repetidas e o outro um experimento de medidas simples.
8. Ilustre a situação de um experimento de sua área em que, através de planos experimentais alternativos, um fator experimental possa ser considerado, opcionalmente, fator de tratamento ou fator intrínseco.
9. Ilustre com exemplos de sua área fator experimental: a) essencialmente de tratamento; b) essencialmente intrínseco; c) intrínseco com características próximas de fator de tratamento.
10. Os fatores experimentais podem ser classificados segundo as seguintes classes: fator qualitativo específico, fator qualitativo ordenado, fator quantitativo, fator misto e fator qualitativo amostrado.
 - a) Ilustre essas classes de fator experimental com exemplos de sua área.
 - b) Caracterize essas classes de fator experimental quanto à escala de medida.
 - c) Caracterize para cada uma dessas classes de fator experimental a relação entre a coleção dos níveis na população objetivo e a coleção dos níveis na amostra.
11. Porque pode ser inconveniente expressar uma característica quantitativa por um fator qualitativo ordenado?
12. Fatores experimentais são algumas vezes classificados nas duas seguintes categorias: fator qualitativo e fator quantitativo. Qual é o inconveniente da consideração dessa classificação mais genérica em lugar daquela indicada no exercício 10?
13. Como você procederia para selecionar os fatores a pesquisar em um experimento? Ilustre com exemplos de sua área.
14. Como podem ser identificados os fatores experimentais principais para um experimento?
15. Considere os experimentos caracterizados a seguir:

- A - "Controle da verminose de cães com o uso de anti-helmínticos", com os seguintes tratamentos: 1 - Mebendazole, 2 - Praziquantel e 3 - controle (sem vermífugo). O experimento será conduzido com animais machos e fêmeos de duas constituições raciais: puros e mestiços, em instalações do hospital veterinário.
- B - "Controle de invasoras em lavouras de arroz irrigado", com os seguintes tratamentos herbicidas: 1 - Molinate, 2 - Benthiocarb, 3 - Pendimethalin, 4 - Propanil, 5 - Dinoseb, 6 - controle (sem herbicida), e as cultivares: Bluebelle e IRGA 408. O experimento será conduzido em 4 locais dos municípios de Pelotas, por um período de 3 anos.
- C - "Efeito da adubação com Cloreto de Potássio em cobertura sobre a produção de soja", com os seguintes tratamentos. Fator 1: adubação; níveis: 1 - adubação na semeadura, 2 - 2/3 na semeadura e 1/3 em cobertura, 3 - 1/2 na semeadura e 1/2 em cobertura, 4 - 1/3 na semeadura e 2/3 em cobertura, 5 - adubação em cobertura. Fator 2: cultivar; níveis: 1 - IAS-5 (ciclo curto), 2 - BR-16 (ciclo médio) e 3 - FT-Abyara (ciclo longo). O experimento será conduzido em 4 locais, por 3 anos.

- a) Para cada um desses experimentos, identifique e enumere os fatores experimentais.
- b) Classifique esses fatores, segundo os quatro critérios listados a seguir, preenchendo na tabela que segue os números que identificam as categorias, conforme apropriado.

Critério I: 1 - Fator de tratamento; 2 - Fator intrínseco.

Critério II: 1 - Fator qualitativo específico não estruturado; 2 - Fator qualitativo específico estruturado; 3 - Fator qualitativo ordenado; 4 - Fator quantitativo; 5 - Fator misto; 6 - Fator qualitativo amostrado.

Critério III: 1 - Fator fixo; 2 - Fator aleatório.

Critério IV: 1 - Fator principal; 2 - Fator secundário.

Experimento	Fator	Critério I	Critério II	Critério III	Critério IV
A	1				
	2				
	3				
	4				
B	1				
	2				
	3				
	4				
C	1				
	2				
	3				
	4				

16. Descreva as vantagens e as desvantagens da execução de um experimento fatorial com diversos fatores experimentais ou de diversos experimentos unifatoriais com esses mesmos fatores experimentais.
17. Supondo que já houve decisão a respeito dos fatores, como você procederia para selecionar os correspondentes níveis? Ilustre com os mesmos exemplos utilizados na questão anterior.
18. Considere os experimentos caracterizados a seguir:

- A - "Efeito de antibióticos sobre o ganho de peso de cordeiros no período de terminação para o abate", com a consideração de animais machos e fêmeos da raça Landrace e dos antibióticos Neomicina, Colistina e Bacitracina.

- B - "Efeito do ácido indol-butírico (AIB) sobre o enraizamento de estacas de goiabeira", para a determinação da dose ótima no intervalo compreendido entre 0 e 5000 ppm de AIB, através do ajustamento de uma função polinomial.
- C - "Influência da ordem do parto sobre a habilidade materna de porcas da raça Duroc", com a consideração das ordens de parto entre 1 e 6, incluídas estas.
- D - "Controle da infestação parasitária de ovinos tipo carne em criação extensiva no Sul do Estado do Rio Grande do Sul", com a consideração de animais machos e fêmeas das raças Ideal, Corriedale e Romney Marsh e do anti-helmíntico Ranizole com doses na população objetivo no intervalo de 0 a 40 mg/kg peso vivo.

Para cada um desses experimentos:

- a) identifique e denomine os fatores experimentais;
 - b) especifique os níveis de cada um desses fatores experimentais para a população objetivo e para a amostra;
 - c) justifique os níveis especificados para a amostra na resposta ao item anterior;
 - d) classifique os fatores experimentais segundo as classes listadas no exercício 10.
19. Considere os tratamentos 6, 4, 1 e 7, respectivamente dos experimentos A, D, F e G do exercício 11 dos **Exercícios 8.2**. Para cada um desses experimentos explique, justificadamente, se o respectivo tratamento indicado foi incluído como tratamento referência.
20. Explique e ilustre os significados de tratamentos controle, testemunha, padrão e placebo.
21. Escolha um problema de sua área que suscite uma pesquisa experimental.
- a) Explique como você procederia para selecionar os fatores a pesquisar nesse experimento.
 - b) Selecione os fatores para o experimento.
 - c) Agora, como você procederia para selecionar os níveis desses fatores?
 - d) Selecione os níveis dos fatores.
22. O que significa estrutura de dois fatores experimentais cruzada? Ilustre essa estrutura de condições experimentais com um exemplo de sua área. Represente essa estrutura fatorial por um diagrama de Hasse.
23. Qual é a propriedade essencial que uma estrutura de condições experimentais deve satisfazer para constituir uma estrutura fatorial cruzada?
24. O que distingue estrutura fatorial completa e estrutura fatorial incompleta quanto às possibilidades de inferências referentes aos fatores experimentais.
25. Explique o racional da geração de uma estrutura fatorial cruzada incompleta ou fracionária para um experimento?
26. Explique porque uma estrutura hierárquica de dois fatores experimentais não permite inferências referentes à interação desses fatores.
27. Ilustre uma situação de experimento em que pode resultar uma estrutura fatorial hierárquica no procedimento da escolha das combinações dos níveis para a amostra.
28. Um experimento de nutrição de galinhas está sendo planejado com o objetivo de pesquisar o efeito da suplementação da dieta usual com sal mineral sobre o ganho de peso. Dez galinhas foram assinaladas a cada um de quatro níveis de suplementação e foi registrado o ganho de peso corporal individual dos animais em cada uma de cinco semanas consecutivas.
- a) Identifique os fatores experimentais e caracterize a relação de cada par desses fatores.
 - b) Represente a estrutura de fatores experimentais desse experimento simbolicamente e por um diagrama de Hasse.
29. Considere-se uma pesquisa com mosca da fruta para caracterizar a influência do genoma e do sexo sobre a variação de peso corporal. De cada uma de três amostras de genomas foram selecionados três machos e nove fêmeas. Três fêmeas foram acasaladas com cada um dos machos. Os ovos de cada uma das fêmeas foram distribuídos em dois frascos. Quando os

ovos eclodiram, foram selecionados e pesados quatro indivíduos de cada garrafa. Desse modo, foram pesadas 216 moscas.

- a) Identifique os fatores experimentais e classifique a relação de cada um dos pares desses fatores.
 - b) Represente a estrutura de fatores experimentais desse experimento simbolicamente e por um diagrama de Hasse.
30. A pesquisa científica é, pela natureza do método científico, seqüencial; então, o que distingue um experimento seqüencial de outros experimentos?
31. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
- a) Um fator experimental intrínseco cujos níveis são instantes sucessivos do período experimental é denominado; um experimento nessas circunstâncias é denominado
 - b) Um experimento cuja amostra abrange uma amplitude considerável de espaço ou de tempo é denominado Experimentos nessas circunstâncias devem compreender um ou mais fatores experimentais intrínsecos designados e, cujos níveis na amostra são posições no espaço ou no tempo, respectivamente.
 - c) Inferências referentes a fator qualitativo específico de tratamento referem-se a comparações de tratamentos – comparações específicas determinadas pelos objetivos do experimento quando o fator é qualitativo específico ; comparações múltiplas dos tratamentos quando é qualitativo específico
 - d) Inferências referentes a fator referem-se a propriedades da função ou curva que exprime a relação entre a variável resposta e o fator. A função que expressa essa relação é denominada ; sua representação geométrica é denominada
 - e) Inferências referentes a um fator referem-se à variância da resposta atribuível aos níveis desse fator na população objetivo
 - f) Fatores experimentais podem ser classificados em duas categorias: e Fatores experimentais são usualmente definidos explicitamente pela hipótese científica.
 - g) Em um experimento a escolha das combinações dos níveis dos fatores experimentais para a amostra pode implicar em uma de três estruturas fatoriais básicas: , e Em uma estrutura os níveis de um fator na amostra se repetem nas combinações com diferentes níveis do outro fator de modo a possibilitar inferências referentes a
 - h) Em uma estrutura as condições experimentais compreendem todas as combinações dos níveis dos fatores experimentais na amostra; em uma estrutura parte dessas combinações são omitidas da amostra; por essa razão, uma estrutura impossibilita inferências referentes a certos efeitos atribuíveis aos fatores experimentais. Uma estrutura fatorial impossibilita inferências referentes a interações de fatores experimentais.
32. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando, entre parênteses, as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () Em geral, o pesquisador tem controle absoluto sobre a manifestação dos níveis de um fator de tratamento na amostra.
 - 2 () Em geral, o pesquisador não tem qualquer controle sobre a manifestação dos níveis de um fator intrínseco na amostra.
 - 3 () Quando tempo é um fator experimental, ele é necessariamente um fator intrínseco.

- 4 () Quando operador é um fator experimental, ele é necessariamente um fator intrínseco.
- 5 () Efeitos de fatores experimentais sobre variáveis respostas ficam sempre confundidos com efeitos de características estranhas.
- 6 () Em experimentos aleatórios, os níveis de um fator de tratamento são atribuídos aleatoriamente às correspondentes unidades experimentais.
- 7 () Fatores de tratamento são usualmente mais importantes do que fatores intrínsecos.
- 8 () Os tratamentos em um experimento fatorial compreendem os níveis de cada um dos fatores de tratamento e as combinações dos níveis desses fatores.
- 9 () Os níveis de um fator experimental são genericamente denominados tratamentos.
- 10 () Em um experimento para estudo da eficácia de antibióticos no controle de uma infecção em animais antibiótico é um fator intrínseco.
- 11 () Em um experimento de ampla abrangência, local é, em geral, um fator experimental intrínseco.
- 12 () Se ano é um fator experimental, então é necessariamente um fator intrínseco.
- 13 () Todos os níveis de um fator qualitativo específico na população objetivo são incluídos na amostra.
- 14 () Para um fator de tratamento qualitativo específico não estruturado todas as comparações entre os níveis são de igual importância.
- 15 () Os níveis de um fator qualitativo não estruturado são escolhidos tendo em conta as comparações específicas sobre as quais o experimento visa derivar inferências.
- 16 () Um fator qualitativo específico estruturado usualmente resulta quando os objetivos do experimento implicam no interesse em comparações específicas entre subconjuntos dos níveis do fator.
- 17 () Procedimentos de análise estatística são os mesmos para fator qualitativo específico estruturado e não estruturado.
- 18 () Os níveis de um fator qualitativo ordenado resultam de uma especificação vaga de valores para representação das alternativas de uma característica explanatória quantitativa.
- 19 () No que diz respeito a considerações referentes à inferência, fator qualitativo ordenado não se distingue de fator qualitativo específico.
- 20 () Os níveis de um fator quantitativo na amostra são de interesse específico.
- 21 () Se um fator é quantitativo, então o pesquisador está interessado nas comparações entre os níveis desse fator incluídos na amostra.
- 22 () Os níveis de um fator qualitativo amostrado na amostra são de interesse específico.
- 23 () Os níveis de um fator qualitativo amostrado na amostra são escolhidos entre os níveis na população objetivo por em um processo aleatório.
- 24 () Um fator experimental constituído da justaposição dos níveis não relacionados de dois fatores quantitativos é um fator misto.
- 25 () Inferências referentes a um fator aleatório usualmente dizem respeito à variabilidade da variável resposta que é atribuível ao fator experimental.
- 26 () Inferências referentes a um fator fixo restringem-se aos níveis do fator experimental na amostra.
- 27 () Fatores experimentais de maior interesse em um experimento são designados fatores principais, enquanto fatores incluídos com propósito de propiciar maior representatividade da amostra são fatores suplementares.
- 28 () Os níveis de um fator qualitativo específico na amostra são sempre os únicos de algum interesse na população objetivo; por isso, o pesquisador não tem qualquer dificuldade para a escolha desses níveis.
- 29 () O pesquisador sempre dispõe de informações que tornam óbvia a escolha dos níveis de um fator quantitativo.

- 30 () Um tratamento controle, testemunha ou padrão é um tratamento incluído no experimento como um tratamento de referência para os demais tratamentos.
- 31 () O nível zero de um fator quantitativo é incluído em um experimento como tratamento referência.
- 32 () As combinações dos níveis em uma estrutura fatorial são denominadas condições experimentais.
- 33 () Em uma estrutura fatorial de dois fatores A e B, os níveis do fator A que se combinam com os níveis do fator B são os mesmos para todos os níveis deste fator.
- 34 () Com uma estrutura fatorial cruzada completa, pode-se derivar inferências independentes referentes aos efeitos dos fatores experimentais isolados e à alteração da resposta a um dos fatores quando varia o nível do outro fator.
- 35 () Em experimentos com poucos fatores é sempre possível ou apropriada uma estrutura fatorial completa.
- 36 () Uma estrutura fatorial cruzada incompleta deve ser derivada tendo em conta a preservação das inferências de interesse.
- 37 () Com uma estrutura fatorial cruzada incompleta, alguns efeitos referentes a fatores experimentais resultam confundidos entre si.
- 38 () Em experimentos fatoriais, inferências referentes a efeitos separados de fatores são usualmente mais importantes do que inferências referentes a relações entre fatores.
- 39 () Estruturas fatoriais incompletas ou fracionárias não são muito aplicáveis na pesquisa agrícola em decorrência da usual elevada variação ambiental.
- 40 () Estruturas fatoriais hierárquicas são usuais para fatores fixos.
- 41 () Em uma estrutura fatorial hierárquica de dois fatores usualmente um desses fatores é aleatório.
- 42 () Algumas estruturas fatoriais hierárquicas possibilitam inferências referentes à interação de fatores.
- 43 () Em um experimento com dois fatores experimentais pode surgir uma estrutura fatorial mista.
- 44 () Estruturas fatoriais cruzadas, hierárquicas e mistas decorrem da seleção das combinações de níveis dos fatores experimentais para a população objetivo.

Conceitos e Termos Chave

- Fator experimental de tratamento
- Experimento de observações / medidas repetidas
- Fator intrínseco de espaço
- Fator intrínseco de classificação
- Fator qualitativo específico não estruturado
- Fator qualitativo ordenado
- Função de resposta / curva de resposta
- Fator qualitativo amostrado
- Fator aleatório
- Fator experimental secundário / suplementar
- Fator experimental intrínseco
- Fator intrínseco de estágio
- Fator intrínseco de tempo
- Fator qualitativo específico
- Fator qualitativo específico estruturado
- Fator quantitativo
- Fator misto
- Fator fixo
- Fator experimental principal
- Experimento unifatorial

- Experimento multifatorial / fatorial
- Relação fatorial cruzada
- Estrutura fatorial cruzada
- Diagrama de estrutura de fatores
- Estrutura fatorial cruzada incompleta fracionária
- Relação fatorial hierárquica / aninhada
- Fator ninho
- Estrutura fatorial hierárquica não balanceada
- Tratamento referência / controle / testemunha / padrão / placebo
- Interação de fatores
- Símbolo de estrutura fatorial
- Estrutura fatorial cruzada completa
- Estrutura fatorial cruzada estendida
- Fator aninhado
- Estrutura fatorial hierárquica balanceada
- Estrutura fatorial mista

Bibliografia

- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2. ed. New York: John Willey, 1957. 617p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- FEDERER, W. T. **Statistics and society, data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. Huntigton, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979. 631 p.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. v.1, 495p.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- LORENZEN, T. J.; ANDERSON, V. L. **Design of experiments; a non-named approach**. New York: Marcel Dekker, 1993. 414p.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**, versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, 1996. 427p.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

9 Planejamento das Características Estranhas e do Controle Experimental

Conteúdo

9.1	Introdução.....	382
9.2	Escolha da Amostra Inicial.....	383
9.3	Estratégia para o Controle Experimental.....	385
9.4	Controle de Técnicas Experimentais.....	387
9.4.1	Preparação do material experimental.....	389
9.4.2	Constituição das unidades experimentais.....	390
9.4.2.1	Tamanho e composição das unidade experimentais.....	391
9.4.2.2	Forma da unidade experimental.....	395
9.4.2.3	Determinação da forma e do tamanho da unidade experimental.....	396
9.4.3	Número de repetições apropriado.....	397
9.4.4	Preparação das condições experimentais.....	403
9.4.5	Período pré-experimental.....	404
9.4.6	Preparação do pessoal técnico.....	404
9.4.7	Execução do experimento.....	405
	Funcionamento ou operação das unidades.....	405
	Aplicação dos tratamentos.....	406
9.4.8	Coleta dos dados.....	406
9.4.9	Preparação e edição dos dados.....	410
	Registro dos dados.....	411
	Criação do arquivo ou base de dados.....	411
	Crítica e edição da base de dados.....	411
9.5	Controle Local.....	413
9.6	Controle Estatístico.....	418
9.7	Casualização.....	420
9.7.1	Casualização na assinalação dos tratamentos.....	422
9.7.2	Casualização na implementação de técnicas experimentais.....	425
	Casualização com recurso de encobrimento.....	426
	Casualização para balanceamento de efeitos ambientais.....	428
9.8	Alcance do controle experimental.....	428
	Exercícios de Revisão.....	429
	Conceitos e Termos Chave.....	434
	Bibliografia.....	435

9.1 Introdução

O planejamento das características estranhas complementa o planejamento da resposta e o planejamento das condições experimentais para a constituição da amostra. Basicamente, ele compreende a escolha da amostra inicial, o planejamento das técnicas a serem implementados para a condução do experimento, particularmente, o planejamento do controle experimental, e a conseqüente definição da estrutura das unidades.

A amostra inicial compreende o material experimental básico, ou seja, o conjunto das características estranhas a partir das quais o experimento é desenvolvido. Sua escolha depende dos objetivos do experimento e tem implicações decisivas para a consecução desses objetivos. A constituição da amostra inicial é particularmente importante para a representação da população objetivo e, portanto para a validade externa das inferências referentes aos efeitos dos fatores experimentais.

No experimento, a amostra é moldada sobre essa amostra inicial pela escolha das unidades e de sua estrutura, pela manifestação natural de características do ambiente e pela implementação de ações necessárias e convenientes para o funcionamento das unidades e para o controle de seu funcionamento.

Alguns dos temas considerados no presente Capítulo já foram abordados em capítulos anteriores, particularmente nos **Capítulos 5 e 6**. Entretanto, as relevâncias desses temas justificam a reiteração e complementação no contexto do planejamento do experimento.

A **Seção 9.2** trata da escolha da amostra inicial, com atenção especial para a suas implicações para a precisão e a validade externa do experimento. A **Seção 9.3** expõe uma estratégia para o controle experimental cujos procedimentos foram definidos e ilustrados na **Seção 5.6**. A **Seção 9.4** considera o planejamento do controle de técnicas experimentais, descrevendo e dando indicações das técnicas mais usuais para as diversas fases do experimento, desde a preparação do material experimental básico até a coleta e preparação dos dados. O controle de técnicas experimentais é estreitamente dependente da área de pesquisa, do objetivo do experimento e do material experimental disponível. Por essa razão, faz-se uma abordagem genérica que é complementada com ilustrações de situações particulares típicas de pesquisas experimentais com plantas e animais. Assim, consideram-se sucessivamente os seguintes tópicos: a) preparação do material experimental; b) constituição das unidades experimentais, particularmente quanto ao tamanho, composição e forma; c) número de repetições; d) preparação das condições experimentais; e) período pré-experimental; f) preparação do pessoal técnico; g) execução do experimento; h) coleta dos dados; e i) preparação e edição dos dados. A **Seção 9.5** discorre sobre o controle local no contexto do planejamento e introduz as diversas formas de estrutura das unidades conseqüentes do controle local. A estruturação das unidades determinada pelo controle local tem implicações fundamentais para a estrutura do experimento e, conseqüentemente, para o modelo estatístico e os procedimentos estatísticos para a derivação de inferências do experimento. Uma exposição e ilustração mais detalhada e abrangente das estruturas das unidades é postergada para o **Capítulo 10**. O planejamento do controle estatístico é o tema da **Seção 9.6**. A **Seção 9.7** discorre sobre o planejamento da casualização, salientando a importância desse procedimento de controle experimental na atribuição dos níveis de fatores de tratamento às respectivas unidades experimentais e, também, na implementação de técnicas experimentais, incluindo recursos para encobrimento e balanceamento de efeitos ambientais. Finalmente, a **Seção 9.8** salienta que o controle experimental tem alcance relativo. Usualmente um subconjunto das características estranhas não é passível de controle. O plano do experimento deve garantir que esse

subconjunto de características tenha implicações irrelevantes para as inferências derivadas do experimento.

9.2 Escolha da Amostra Inicial

A amostra ou material experimental é constituída ao início e durante a execução do experimento. Sua construção inicia com a obtenção e preparação do **material experimental inicial** ou **básico**, prossegue durante a execução do experimento e se completa com o registro dos dados. O material experimental compreende o conjunto das características estranhas da amostra inicial, as condições experimentais, o conjunto das características estranhas que se manifestam durante a execução do experimento e as características respostas.

A composição do material experimental inicial tem conseqüências relevantes tanto para a precisão quanto para a validade do experimento (**Seções 6.5.3 e 6.5.4**). A precisão é beneficiada pela escolha de amostra inicial homogênea; a validade externa requer que essa amostra seja representativa da população objetivo.

A escolha da amostra inicial depende dos objetivos do experimento e tem implicações decisivas para a consecução desses objetivos. Em experimentos básicos a representatividade da amostra é usualmente pouco relevante, enquanto a precisão assume importância elevada. A escolha da amostra inicial deve enfatizar a homogeneidade das características estranhas. Muito freqüentemente essa amostra deve compreender uma única instalação com ambiente controlado, como laboratório, casa de vegetação ou estufa.

Contrariamente, em experimentos tecnológicos, a representatividade da amostra inicial é altamente relevante. Nessas circunstâncias, o pesquisador deve optar por escolher uma amostra representativa e utilizar os recursos de controle experimental para lograr precisão satisfatória. Nesses experimentos a escolha da amostra depende da abrangência espacial e temporal da população objetivo, da variabilidade das características das unidades nessas duas dimensões e da expectativa de interação dos efeitos dessas características com efeitos dos fatores experimentais. Usualmente, as características do ambiente são as mais influentes. Se essas características são pouco variáveis e é esperado que a interação de seus efeitos com efeitos dos fatores experimentais seja irrelevante, a amostra pode compreender um único local e uma única seção de tempo. Essas circunstâncias são freqüentes em experimentos de processos industriais. Elas também podem ocorrer em experimentos com plantas e animais quando a variabilidade das características do solo e do clima é pouco expressiva, como, por exemplo, experimentos com hortaliças em ambientes protegidos e experimentos com suínos e aves criados em confinamento.

Quando a população objetivo tem abrangência espacial e temporal ampla, mais freqüentemente a representação da gama da variação nessas duas dimensões requer que a amostra compreenda diversas repetições no espaço e no tempo. Por exemplo, em experimentos de campo com plantas anuais e com animais freqüentemente a amostra deve compreender mais de um local e mais de um ano. O número de repetições desses experimentos no espaço e no tempo depende da linha de pesquisa. Por exemplo, experimentos com plantas de controle de doenças, pragas e invasoras, e experimentos com animais de controle de doenças e parasitos podem requerer poucos locais e apenas um ou dois anos, desde que as condições ambientais favoreçam a ocorrência de fungos, vírus, insetos ou parasitos que propicie oportunidade para que os fungicidas, inseticidas, herbicidas ou parasiticidas revelem seus efeitos. Nesses experimentos pode ser mais relevante a manifestação de condições ambientais propícias para que os tratamentos manifestem seus efeitos do que a representação da variabilidade presente na população objetivo. Nesse caso os locais devem ser escolhidos entre aqueles onde haja expectativa dessas ocorrências.

Alguns experimentos requerem a representação da variabilidade presente na população objetivo. Esse é o caso, por exemplo, de experimentos de fertilização do solo e de fase final de programas de melhoramento genético. Esses experimentos requerem escolha de locais mais cuidadosa e número mais elevado de locais. Os locais devem ser escolhidos de modo a representarem a gama da variabilidade das características do solo e do clima da região de abrangência da população objetivo. Por outro lado, a representação da variação anual do clima pode requerer no mínimo três anos.

Alguns programas de pesquisa experimental compreendem duas ou mais fases. Em alguns desses programas a primeira fase tem o propósito de identificar tratamentos possivelmente efetivos. Nessa fase são tolerados planos e delineamentos experimentais que não atendam a alguns requisitos e princípios básicos, e são permitidas muitas declarações falsas de eficácia de tratamentos para não negligenciar a identificação de tratamentos possivelmente efetivos. Na medida em que se acumula novo conhecimento, a validade externa assume importância para destacar aqueles tratamentos que realmente têm melhor desempenho sob pelo menos circunstâncias ideais. Na última fase de pesquisa, a validade externa é prioritária para caracterizar o desempenho dos tratamentos sob as condições das situações reais. Por exemplo, certas pesquisas experimentais com novas drogas para tratamento de doenças humanas iniciam com testes em cobaias infectadas com o agente da doença; seguem com testes experimentais controlados em humanos voluntários, e finalizam com experimentos com as drogas selecionadas sobre uma amostra representativa dos indivíduos que manifestam a doença.

Alguns programas de pesquisa iniciam com número de tratamentos extremamente elevado, que vão sendo sucessivamente reduzidos pela eliminação de tratamentos possivelmente ineficazes, até uma fase final de um experimento crítico para comparação de um número reduzido dos tratamentos que foram selecionados anteriormente para identificação dos melhores para recomendação. Semelhantemente à situação anterior, na primeira fase são toleradas violações de alguns requisitos e princípios básicos do plano e do delineamento experimental, mas agora é permitida a eliminação de muitos tratamentos sob o risco de descarte de tratamentos possivelmente efetivos. Na última fase são comparados os poucos tratamentos selecionados nas fases anteriores em um conjunto de locais e anos representativos da variabilidade presente na população objetivo. Esse processo de pesquisa experimental é ilustrado por programas de melhoramento genético vegetal. Esses programas de pesquisa compreendem uma fase inicial de um experimento com um número extremamente elevado de genótipos. Esse experimento é usualmente conduzido em um único local e ano e com delineamento experimental que compreende parcelas de uma única linha e apenas duas repetições. Nessa fase são eliminados muitos genótipos sob o risco de descarte de genótipos possivelmente promissores. Alguns desses programas incluem uma fase intermediária em que é conduzido um experimento em mais de um local para prosseguimento da eliminação de genótipos com menos risco de descarte de genótipos promissores. A última fase compreende um experimento crítico com os poucos genótipos selecionados nas fases anteriores que é conduzido por dois ou mais anos em um conjunto de locais representativos da variabilidade ambiental da população objetivo.

Experimentos de abrangência ampla são muito comumente negligenciados e conduzidos em um ou poucos locais pelas dificuldades de realizar pesquisa em locais dispersos e os recursos financeiros que demandam. Entretanto, em muitas situações eles são cruciais, particularmente quando se trata de pesquisa que visa recomendação de tecnologias para uso em lavouras, fazendas e indústrias. Para segurança da adequabilidade dessas recomendações elas precisam ser baseadas em experimentos realizados com amostras representativas das situações práticas. Há variações referentes ao delineamento que podem ser exploradas. Uma delas é realizar um experimento

principal em poucos locais e apenas um ou dois anos, e prosseguir com um experimento suplementar com os tratamentos que se revelaram mais promissores que é conduzido em um conjunto maior de locais para melhor representação da população objetivo. Esse experimento pode ter as características de um levantamento; os locais podem ser estações experimentais e lavouras ou fazendas particulares. Em geral é conveniente que cada local compreenda duas repetições para prover uma estimativa independente do erro experimental. Dessa forma, as diferenças entre os tratamentos podem ser avaliadas para cada local e a variação dessas diferenças entre os locais pode ser relacionada com as características relevantes do ambiente, como precipitação pluvial, temperatura e tipo de solo, para eventual identificação das condições em que tratamentos são mais vantajosos ou, possivelmente, prejudiciais.

A generalização das inferências da amostra para a população objetivo é uma questão crucial em experimentos tecnológicos. Essa generalização tem base sólida apenas se o experimento é conduzido sobre uma amostra representativa da população objetivo. O pesquisador pode argumentar que as condições ambientais do único local onde seu experimento foi conduzido são suficientemente representativas para extensão das inferências para situações de lavouras, fazendas ou indústrias. Ele pode estar correto, mas essa afirmação não pode ser confirmada nem negada pelos resultados do experimento. A única solução é a condução do experimento em diversos locais. Em geral, esses locais não podem ser escolhidos aleatoriamente da coleção dos locais da população objetivo. De fato, usualmente isso não é necessário. A representatividade requerida é usualmente obtida pela escolha dos locais que propiciem a interação mais elevada com os tratamentos. Esse propósito é logrado pela escolha de locais que apresentem as maiores diferenças quanto às características do ambiente; por exemplo, alguns locais de solo profundo, alguns de solo raso, alguns locais secos, alguns úmidos. Essa escolha possibilita relacionar diferenças de efeitos de tratamentos com diferenças de características do ambiente.

9.3 Estratégia para o Controle Experimental

A definição do controle experimental deve ser elaborada na fase do planejamento do experimento e sua execução deve ser prevista no protocolo do experimento. Pelos seus distintos propósitos e implicações é conveniente que os procedimentos de controle experimental sejam considerados ordenadamente no planejamento do experimento. Em primeiro lugar, o pesquisador deve considerar as possibilidades do controle de técnicas experimentais. Todas as técnicas experimentais permitidas devem ser planejadas para implementação. Em experimentos tecnológicos, o controle de técnicas experimentais tem limitações; ele deve ser efetuado de modo a não prejudicar a representação da população objetivo pela amostra. Em experimentos básicos, usualmente não há tal limitação; o controle de técnicas experimentais pode chegar a ponto de constituir ambientes e situações artificiais, como casas de vegetação, estufas e laboratórios, que não tenham relações com circunstâncias práticas.

A seguir, vêm o controle local e o controle estatístico. Usualmente, esses procedimentos de controle experimental são menos eficazes do que o controle de técnicas experimentais no que diz respeito à redução do confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais. Entretanto, eles não apresentam o inconveniente salientado do controle de técnicas experimentais. Em último lugar, deve ser considerada a casualização. A casualização é o recurso para lograr que o confundimento não controlado por controle de técnicas experimentais, controle local e controle estatístico seja não tendencioso.

Assim, os procedimentos de controle experimental são todos importantes e devem ser utilizados estrategicamente, de modo complementar, segundo as circunstâncias de cada experimento.

O planejamento do controle experimental demanda uma antecipação ou previsão do processo do experimento que permita a descrição das características estranhas que constituirão a amostra. Uma estratégia apropriada para o planejamento do controle experimental compreende a seguinte seqüência de passos:

- 1 - descrição completa do conjunto das características estranhas da amostra através de seus grandes agregados;
- 2 - detalhamento sucessivo de cada um desses agregados de características com visão espacial e temporal para identificação das características estranhas relevantes;
- 3 - identificação do subconjunto dessas características que devam ser controladas por técnicas experimentais;
- 4 - identificação das características estranhas restantes que devam ser controladas por controle local e por controle estatístico;
- 5 - identificação das características estranhas remanescentes que possam e devam ser casualizadas;
- 6 - planejamento da implementação do controle desses três subconjuntos de características estranhas através dos correspondentes procedimentos de controle experimental apropriados, segundo a ordem dos passos 3, 4 e 5.

A identificação das características estranhas relevantes para controle experimental deve ser procedida com base no objetivo da pesquisa (básico ou tecnológico), no material experimental disponível, na precisão e validade desejada para as inferências a serem derivadas do experimento, na experiência e nas informações de experimentos anteriores.

Os dois primeiros passos da estratégia para o planejamento do controle experimental são ilustrados a seguir, utilizando os dois primeiros exemplos da **Seção 5.8**.

Exemplo 9.1

Considere-se o experimento para pesquisa do efeito do fitohormônio sintético ácido indolbutírico (AIB) sobre o enraizamento de estacas de kiwi (**Exemplo 5.34**). A identificação das características estranhas relevantes pode ser procedida como segue:

Passo 1 - Os grandes agregados de características estranhas que poderão constituir a amostra correspondem a: 1 - estaca, 2 - ambiente, 3 - técnicas de cultivo e 4 - mensuração e registro dos dados.

Passo 2 – As características potencialmente mais relevantes de cada um desses agregados de características estranhas são:

- a) características da estaca: procedência, comprimento, espessura e sanidade;
- b) características do ambiente: solo – textura, estrutura, fertilidade e umidade; clima - temperatura, umidade relativa e insolação; incidências de doenças, pragas e predadores;
- c) características das técnicas de cultivo: preparo das estacas, aplicação do fitohormônio AIB (excluídas as propriedades do próprio AIB, que constituem o fator experimental), preparo do vaso, estaquia, aplicações de fungicidas e inseticidas, proteção contra predadores e coleta das estacas enraizadas; e
- c) características dos processos de mensuração e de registro dos dados.

Exemplo 9.2

Os dois primeiros passos para a identificação das características estranhas relevantes do experimento do controle de doenças fúngicas foliares do trigo com fungicidas (**Exemplo 5.35**) são:

Passo 1 - Os grandes agregados de características estranhas que poderão constituir a amostra referem-se a: 1 - semente, 2 - ambiente, 3 - técnicas de cultivo e 4 - mensuração e registro dos dados.

Passo 2 – As características potencialmente mais relevantes de cada um desses agregados de características estranhas são:

- a) características da semente: procedência, pureza, estado sanitário e vigor, excetuadas as características inerentes ao fator experimental cultivar;
- b) características do ambiente: solo - fertilidade, umidade e profundidade; clima - temperatura, umidade relativa, vento, geada e granizo; incidências de doenças, pragas, invasoras e predadores; são excetuadas as características inerentes aos fatores experimentais local e ano;
- c) características das técnicas de cultivo: preparo do solo, plantio, aplicação de fungicidas e outros pesticidas, excetuado fungicida para controle de doenças foliares, e colheita;
- d) características dos processos de mensuração e registro dos dados.

Em algumas situações, o experimento é conduzido em duas ou mais etapas que correspondem a fases diferentes do funcionamento ou operação das unidades da população objetivo. O **Exemplo 9.3** ilustra essa circunstância.

Exemplo 9.3

Exemplos de experimentos com mais de uma fase de operação ou funcionamento das unidades:

- a) experimento de fertilização do solo para o cultivo de cebola que compreende uma primeira etapa em sementeira e outra etapa na lavoura;
- b) experimento sobre o efeito da nutrição da ovelha sobre o desenvolvimento corporal do cordeiro que compreende uma fase no ambiente de manutenção da ovelha e outra no ambiente de criação do cordeiro.

Um experimento nessas circunstâncias compreende o conjunto das diversas fases do funcionamento das unidades que, portanto, devem ser consideradas conjuntamente no planejamento do controle experimental.

9.4 Controle de Técnicas Experimentais

As técnicas experimentais são as ações implementadas para a condução do experimento. Podem ser distinguidas duas categorias de técnicas experimentais:

- técnicas experimentais necessárias para o funcionamento das unidades da amostra e que são adotadas na população objetivo, e
- técnicas experimentais que são implementadas propositadamente para o controle experimental.

O controle de técnicas experimentais (**Seção 5.6.1**) compreende a implementação controlada de técnicas experimentais requeridas para o funcionamento das unidades da amostra e o emprego de técnicas experimentais com o propósito específico de eliminar ou reduzir a variabilidade de características estranhas e o confundimento tendencioso dos efeitos dessas características com efeitos de fatores experimentais.

O controle de técnicas experimentais tem como propósito o aumento da precisão e a diminuição do viés (ou seja, o aumento da validade) (**Seções 6.5.3 e 6.5.4**). O aumento da precisão é logrado por técnicas experimentais que contribuam para a homogeneização das características estranhas do material experimental, enquanto que a diminuição do viés é obtida pelo emprego de técnicas experimentais que permitam evitar o confundimento tendencioso de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais e contribuam para a melhor representação da população objetivo pela amostra. Muito freqüentemente a implementação de um controle de técnica

experimental para um desses propósitos prejudica o outro. O pesquisador deve adotar o controle de técnicas experimentais de modo equilibrado para que seja lograda precisão e validade tão elevadas quanto possível.

O controle de técnicas experimentais é, em geral, o procedimento mais eficaz para o controle da variação devida a características estranhas. Entretanto, como ele elimina ou restringe a variação das características estranhas controladas, somente pode ser empregado para características estranhas cuja uniformidade de manifestação na amostra não implique prejuízo para a representação da população objetivo. Por essa razão, o controle de técnicas experimentais é utilizável mais amplamente em experimentos básicos do que em experimentos tecnológicos.

Observe-se que, em geral, o propósito do controle de técnicas experimentais não é tornar características estranhas constantes ou invariáveis. O que é mais freqüentemente importante e desejável é a eliminação ou diminuição da variação dos efeitos dessas características entre os níveis dos fatores experimentais.

As características estranhas que poderão compor a amostra podem ser distinguidas em três subclasses quanto à possibilidade e conveniência de controle de técnicas experimentais:

- 1) características estranhas que não são passíveis de controle de técnicas experimentais;
- 2) características estranhas que podem ser submetidas a controle de técnicas experimentais limitado;
- 3) características estranhas que podem ser submetidas a controle de técnicas experimentais ilimitado.

A subclasse 1) compreende as características estranhas inerentes às unidades cuja manifestação está fora do controle do pesquisador. As subclasses 2) e 3) são constituídas pelas características estranhas cuja manifestação pode ser sujeita a interferência do pesquisador. Entretanto, o controle de características da subclasse 2) pode implicar prejuízo da representação da população objetivo pela amostra; portanto, deve ser exercido de modo cauteloso, até o ponto em que não decorra tal prejuízo.

Observe-se que as características estranhas da subclasse 3) podem ser submetidas a controle de técnicas experimentais ilimitado no que diz respeito à ausência de prejuízo para a representatividade da amostra. De fato, em geral, o controle de técnicas experimentais de qualquer característica estranha é parcial ou limitado pela impossibilidade de lograr constância absoluta de sua manifestação nas unidades da amostra.

Para ilustração dessas três subclasses das características estranhas, considerem-se novamente os experimentos descritos no **Exemplo 5.34** e no **Exemplo 5.35** da **Seção 5.8**, cujas características estranhas foram identificadas no **Exemplo 9.1** e no **Exemplo 9.2**.

Exemplo 9.4

As características estranhas do experimento do efeito do fitohormônio sintético ácido indolbutírico (AIB) sobre o enraizamento de estacas de kiwi (**Exemplo 5.34**, **Exemplo 9.1**) são classificadas nas três subclasses referentes à possibilidade e conveniência de controle de técnicas experimentais como segue:

- 1) características estranhas que não são passíveis de controle de técnicas experimentais: nenhuma;
- 2) características estranhas que podem ser submetidas a controle de técnicas experimentais limitado: nenhuma;
- 3) características estranhas que podem ser submetidas a controle de técnicas experimentais ilimitado: características da estaca - procedência, comprimento, espessura

e sanidade; características do ambiente – solo: textura, estrutura, fertilidade e umidade, clima: temperatura, umidade relativa e insolação, incidências de doenças, pragas e predadores; características das técnicas de cultivo - preparo das estacas, aplicação do fitohormônio AIB (excluídas as propriedades referentes ao fator experimental AIB), preparo do vaso, estaquia, aplicações de fungicidas e inseticidas, proteção contra predadores e coleta das estacas enraizadas; características dos processos de mensuração e registro dos dados.

Assim, nesse experimento todas as características estranhas podem ser submetidas a controle de técnicas experimentais ilimitado. Isso significa que o pesquisador pode e deve implementar todas as ações ao seu alcance para lograr a manifestação das características estranhas de modo tão uniforme quanto possível. Em geral, o grau dessa uniformidade é limitado pelos recursos disponíveis; por exemplo, as características do solo nos vasos (textura, estrutura, fertilidade e umidade) podem ser acentuadamente homogêneas, mas não absolutamente homogêneas; o controle climático da casa de vegetação pode ser bastante acentuado, mas não absoluto; as técnicas de cultivo podem ser implementadas de modo consideravelmente uniforme em todos os vasos, mas não de modo constante; a mensuração e o registro dos dados podem ser procedidos com todo o cuidado, mas não de modo absolutamente invariável.

Exemplo 9.5

As características estranhas do experimento de controle de doenças foliares do trigo com fungicidas (**Exemplo 5.35**, **Exemplo 9.2**) são classificadas nas três subclasses como segue:

- 1) características estranhas que não são passíveis de controle de técnicas experimentais: características do ambiente – solo: umidade e profundidade; clima: temperatura, umidade relativa, vento, geada e granizo;
- 2) características estranhas que são passíveis de controle de técnicas experimentais limitado: características do ambiente – solo: fertilidade;
- 3) características estranhas que são passíveis de controle de técnicas experimentais ilimitado: características da semente - procedência, pureza, estado sanitário e vigor; características do ambiente - incidências de doenças, pragas, invasoras e predadores; características das técnicas de cultivo - preparo do solo, plantio, aplicação de fungicidas e outros pesticidas (excetuado fungicida para controle de doenças fúngicas foliares), colheita; características dos processos de mensuração e registro dos dados.

As técnicas experimentais dependem da área de pesquisa e são específicas para cada área. Discorrer-se-á, a seguir, sobre o procedimento geral para implementação apropriada dessas técnicas, na ordem cronológica em que elas devem ser usualmente implementadas, com recurso de ilustrações através de exemplos particulares.

9.4.1 Preparação do material experimental

O material experimental inicial escolhido deve ser preparado para a execução do experimento. Particularmente, devem ser empregadas as técnicas experimentais requeridas para lograr a representação apropriada das características estranhas presentes na população objetivo e a maior homogeneidade dessas características que seja possível sem prejuízo dessa representação. O **Exemplo 9.6** ilustra algumas situações.

Exemplo 9.6

- a) Em experimentos agrícolas de campo, o solo é preparado de modo uniforme, com fertilização e calagem básicas, se apropriado;
- b) em experimentos com plantas perenes, é escolhido um conjunto de plantas sadias de um pomar ou de uma parte de um pomar;
- c) em experimentos com animais, os animais devem ser livrados de doenças e pragas, devem ser descartados indivíduos não conformáveis com as características consideradas na

população objetivo (tais como indivíduos com anomalias e outras condições atípicas), e devem ser utilizadas instalações uniformes apropriadas.

9.4.2 Constituição das unidades experimentais

Uma vez estabelecida a constituição do material experimental inicial ou básico, ele deve ser dividido para a formação das unidades experimentais, das unidades de observação e das classificações dessas unidades para propósito de controle local. A classificação das unidades de observação relaciona-se com o planejamento do controle local, que é o tema da **Seção 9.5**; a conseqüente formulação da estrutura das unidades é o tópico da **Seção 10.3**.

Em experimentos de abrangência ampla, a constituição das unidades experimentais, das unidades de observação e das classificações das unidades de observação para propósito de controle local é procedida separadamente para cada seção do espaço e do tempo. O **Exemplo 9.7** apresenta ilustrações referentes à situação mais simples de uma única formação de unidades experimentais, recorrendo aos experimentos considerados no **Exemplo 9.6**.

Exemplo 9.7

a) Em um experimento de comparação de cultivares de sorgo em terreno heterogêneo, o terreno já preparado é dividido em talhões (unidades de observação) que constituirão as unidades experimentais para o fator experimental cultivar. Então, os talhões são classificados em grupos de talhões (blocos) de modo que os talhões de cada um desses grupos sejam suficientemente homogêneos.

b) Em um experimento para pesquisa do efeito do desbaste de frutos sobre a produção de pêssego em terreno em declive, o pomar é dividido em talhões (unidades experimentais) de uma ou mais plantas (unidades de observação) que receberão os tratamentos (níveis de desbaste). Os talhões são, então, agrupados para a constituição de blocos segundo as faixas de nível.

c) Em um experimento para pesquisa da imunização de bovinos de corte da raça Hereford contra uma doença em que são utilizados animais (unidades de observação e unidades experimentais) com variação considerável de idade, esses animais são classificados em grupos segundo a idade (blocos) e, então, são assinalados e mantidos em um mesmo potreiro.

d) Em um experimento de nutrição animal as instalações disponíveis freqüentemente já compreendem um conjunto apropriado de compartimentos ou divisões (potreiros, boxes, gaiolas, por exemplo) para constituírem as unidades experimentais. Em algumas situações, entretanto, as instalações devem ser preparadas ou mesmo construídas especialmente para o experimento. Então, um ou mais animais são assinalados a cada um desses compartimentos. No caso em que as divisões ou os animais ou ambos são heterogêneos, as divisões ou os animais, ou ambos divisões e animais, são preliminarmente classificados em grupos (blocos). No último caso, os grupos de animais são atribuídos aos grupos de divisões.

e) Em um experimento de nutrição de aves poedeiras Hisex Brown os animais são alojados em gaiolas coletivas para dois ou mais animais (unidades experimentais) e essas gaiolas são classificados em grupos de gaiolas (blocos) de modo que as gaiolas de cada grupo sejam suficientemente homogêneas.

Em experimentos fatoriais com duas ou mais formações de unidades experimentais a divisão do material experimental deve ser efetuada de modo a constituir a estrutura das unidades apropriada.

Exemplo 9.8

a) Em um experimento para pesquisa do efeito da formulação da ração e da administração de anabolizante em suínos no período de crescimento e terminação para o abate (**Exemplo 5.12**) as instalações compreendem um conjunto de boxes coletivos para quatro animais. Convenientemente, o boxe com os correspondentes quatro animais constituem a unidade

experimental para o fator experimental ração e o animal dentro de boxe, a unidade experimental para o fator experimental anabolizante.

b) Em um experimento sobre o efeito da adubação e do desbaste de frutos em pessegueiro, um pomar é dividido em talhões de seis plantas, de modo que as unidades experimentais para os fatores experimentais adubação e desbaste sejam, respectivamente, o talhão com seis plantas e a planta individual dentro de talhão.

A formação das unidades experimentais requer as definições de seu tamanho e composição, de sua forma e do número de unidades para os níveis dos fatores experimentais. Essas definições são relevantes, principalmente pelas suas implicações para a precisão, a validade interna e a validade externa das inferências.

9.4.2.1 Tamanho e composição das unidade experimentais

Em experimentos com um único fator experimental o material experimental compreende uma única formação de unidades experimentais; em experimentos com mais de um fator experimental pode haver mais de uma formação de unidades experimentais (**Seção 5.4**). Restrições de recursos, razões de ordem prática e econômica, e a viabilização da pesquisa muito freqüentemente requerem que as unidades experimentais sejam menores do que as unidades correspondentes da população objetivo. Por exemplo, em experimentos de campo com plantas as unidades experimentais são usualmente pequenos talhões, em vez de lavouras das dimensões usuais na população objetivo; em experimentos com animais em pastoreio as unidades experimentais são poteiros de pequenas dimensões e poucos animais em lugar de poteiros de uma fazenda com um rebanho de animais; em um experimento com aves poedeiras as unidades experimentais são gaiolas com poucos animais, enquanto na população objetivo são instalações que podem compreender centenas de animais.

Em experimentos comparativos inferências sobre efeitos de tratamentos que são baseadas em unidades pequenas são não tendenciosas apenas se o comportamento relativo dos tratamentos nessas unidades forem similares aos comportamentos nas unidades da população objetivo. Por outro lado, o desvio padrão por unidade tende a crescer com a diminuição do tamanho da unidade, dado que unidades pequenas são menos representativas do material experimental global. Entretanto, esse prejuízo para a precisão pode ser compensado pela possibilidade do uso de maior número de unidades pequenas. Em geral, a unidade experimental deve satisfazer algumas propriedades essenciais que estabelecem um limite mínimo às suas dimensões. Essas propriedades são consideradas a seguir.

a) A unidade experimental deve servir como unidade para aplicação de um nível do fator experimental. Essa propriedade requer que a unidade experimental tenha tamanho apropriado. Esse tamanho deve ser suficiente para que o fator experimental possa ser implementado. Alguns fatores experimentais requerem unidades grandes; outros podem ser acomodados em unidades de pequenas dimensões. Assim, os fatores método de preparação do solo ou de irrigação em experimentos com plantas e composição da pastagem em experimentos com gado de corte em pastoreio requerem unidades de dimensões grandes; no outro extremo, os fatores cultivar, poda e desbaste de frutos em experimentos com plantas frutíferas e hormônio de crescimento de animais podem ser alocados em unidades pequenas; unidades experimentais para fatores como inseticida, fungicida e herbicida podem ter dimensões intermediárias entre esses dois extremos. Por exemplo, as unidades para métodos de preparação do solo devem ser suficientemente grandes para o uso dos equipamentos adotados em lavouras; o revolvimento do solo manual com enxada pode ter efeito muito diferente do efetuado com arado e o manejo de arado requer unidade grande e comprida.

b) A unidade experimental deve compreender o número apropriado de componentes. Essa é uma propriedade relevante tanto para a precisão quanto para a

validade das inferências. Em experimentos em que os componentes das unidades são plantas de pequeno porte, como graníferas e hortícolas, unidades com 20 a 200m² podem compreender número suficiente de plantas. Entretanto, em experimentos com plantas de grande porte, como frutíferas e florestais, o tamanho da unidade experimental é determinado pelo número necessário de plantas. Isso porque o número de plantas por unidade pode ser mais importante do que o tamanho da unidade, pois a variabilidade entre unidades pode depender mais do número de plantas do que do tamanho da unidade; pequeno número de plantas pode implicar variabilidade elevada, inclusive em decorrência de prejuízo ou morte de plantas. Nessas circunstâncias o número necessário de plantas pode requerer dimensão considerável da parcela. Todavia, uma única planta por parcela pode ser suficiente em algumas situações de experimentos de pequena duração em que os tratamentos são aplicados diretamente nas plantas. Considerações semelhantes aplicam-se a experimentos com animais. Unidades pequenas, como gaiolas, podem compreender número suficiente de animais de pequeno porte, como ratos, cobaias e aves; entretanto, unidades para animais de grande porte, como bovinos de corte e de leite, usualmente devem ter grandes dimensões para comportarem número suficiente de animais.

c) A unidade experimental deve permitir a implementação de técnicas para o funcionamento das unidades de modo similar ao que é usual na população objetivo. Algumas dessas técnicas são próprias para unidades grandes. Por exemplo, preparo do solo, aplicação de fertilizantes, inseticidas e fungicidas, colheita, manejo de animais em pastoreio são usualmente efetuados com equipamento de grande porte, como arado puxado por trator, colhedeiros e rebanhos de animais. Em experimentos usualmente essas operações são procedidas por equipamentos especialmente construídos para manejo em unidades de pequenas dimensões. A simulação das operações usuais nas unidades da população objetivo com o uso desses equipamentos pode requerer que a unidade experimental tenha dimensões apropriadas.

d) A definição da unidade experimental deve levar em conta considerações de ordem prática. Em algumas situações as unidades já estão construídas e não podem ser alteradas. Por exemplo, um experimento com animais pode ser condicionado ao uso de instalações (potreiros, boxes ou gaiolas) já existentes ou ao número de animais disponíveis; um experimento com plantas frutíferas pode ser limitado ao uso de um pomar já existente; as facilidades para um experimento em casa de vegetação podem ditar o uso de unidades pequenas. Naturalmente, nessas situações o pesquisador deve avaliar as conseqüências de acomodar o plano de seu experimento, em particular o tamanho das unidades de experimentais, às restrições de material experimental. Caso não sejam garantidos os requisitos necessários para a derivação das inferências relevantes, pode ser mais conveniente que o experimento não seja conduzido.

e) A unidade experimental deve possibilitar que o fator experimental manifeste na amostra os efeitos que tem na população objetivo. Essa propriedade requer que a unidade tenha tamanho e número de componentes apropriados. Fatores como antibiótico, vacina, hormônio, sexo e desbaste de frutos podem revelar seus efeitos em unidades com poucos indivíduos. Por outro lado, certos experimentos com plantas e animais requerem que a unidade tenha tamanho suficiente para compreender o número de indivíduos necessário para que seja manifestada a competição usual em lavouras, potreiros, boxes, etc. Em experimentos com plantas pode ocorrer que os indivíduos nas fronteiras das unidades tenham comportamento diferente daqueles da parte interna que supostamente estejam sob condições semelhantes às da população objetivo. Nesse caso podem ser convenientes o uso de bordadura na parcela e a mensuração das características respostas em sua parte interna, que é usualmente denominada área útil da parcela. Semelhantemente, em alguns experimentos com animais pode ser

conveniente a composição da unidade experimental elementar por um número de animais superior àquele que deve ser utilizado para as mensurações.

Em algumas situações o tamanho apropriado da unidade pode variar com o nível do fator experimental. Esse pode ser o caso, por exemplo, de fatores como espaçamento de plantas e lotação animal. Particularmente, configurações comparáveis de diferentes espaçamentos de plantas podem requerer tamanhos de unidades diferentes. Alternativamente, podem ser buscadas unidades de mesmo tamanho com a variação adequada de configuração. Por exemplo, em um experimento de espaçamento de plantio de batatinha em que os tratamentos são os três espaçamentos entre linhas: 10, 20 e 30cm, com espaçamento comum de 1m dentro da linha, parcelas com 6 linhas de 5m devem ter 3, 6 e 9m², respectivamente. Alternativamente, podem ser constituídas parcelas de mesmo tamanho com números de linhas diferentes; por exemplo, parcelas de 7,2m², respectivamente com 12, 6 e 4 linhas. Essas duas alternativas têm implicações diferentes e o pesquisador deve decidir qual é a mais apropriada para que os tratamentos revelem seus efeitos sob as condições da população objetivo.

f) As unidades não devem permitir interferências de efeitos de tratamentos. Essa propriedade requer duas condições: a) confinamento da aplicação dos tratamentos às unidades a que são assinalados e b) confinamento dos efeitos dos tratamentos a essas unidades. Naturalmente, a violação da primeira condição implica a da segunda. Em experimentos agrícolas as plantas próximas às fronteiras de uma parcela podem ser afetadas pelos tratamentos nas parcelas vizinhas. Por exemplo: a) plantas de uma parcela com uma cultivar de porte baixo ou de raízes curtas podem ser prejudicadas pela competição com plantas de parcela vizinha com uma cultivar de maior porte ou de raízes compridas, enquanto que estas podem ser beneficiadas; b) plantas de uma parcela com uma dose baixa de fertilizante podem ser beneficiadas pela dose de fertilizante elevada de uma parcela vizinha, enquanto que as plantas desta parcela podem ser prejudicadas. Nas situações em que a interferência de efeitos de tratamentos se restringe às fronteiras das parcelas, o confundimento desses efeitos pode ser controlado pelo descarte de uma bordadura da parcela.

Em muitas circunstâncias a interferência de efeitos de tratamentos tem abrangência que pode não ser controlável pelo uso de bordadura na parcela. Esse é o caso, por exemplo, de tratamentos para controle da incidência de insetos, de fungos ou de vírus, e de experimentos para pesquisa de irrigação ou de fertilização do solo. Pesticida aplicado em uma parcela pode ser espalhado pelo vento para outras parcelas, água aplicada a uma parcela pode escorrer para parcelas próximas e fertilizante aplicado em uma parcela pode atingir raízes de plantas de parcelas vizinhas. Por outro lado, uma concentração elevada de insetos, fungos ou vírus em uma parcela sem pesticida pode provocar migração para outras parcelas; plantas que se desenvolvem mais em parcelas com níveis de irrigação ou fertilização do solo favorável podem ocasionar sombreamento ou proteção contra vento de plantas em parcelas com níveis menos favoráveis desses fatores. Os recursos para evitar interferências de efeitos de tratamentos dessas origens são os usos de espaçamentos e áreas de proteção entre as unidades, adicionalmente ao descarte de bordaduras.

Os usos de bordaduras, espaçamentos e áreas de proteção requerem que a unidade experimental tenha tamanho maior do que a fração do material experimental em que serão efetuadas as mensurações das características respostas. Isso implica desperdício de material experimental e trabalho que são proporcionalmente maiores para unidades pequenas. Esse fato deve ser levado em conta na definição do tamanho da unidade experimental.

Por outro lado, algumas vezes essas técnicas de controle experimental são soluções apenas parciais. Por exemplo, no caso em que os tratamentos são pesticidas, os espaços e áreas de proteção não podem ficar sem pesticida, pois constituiriam foco de infecção ou infestação; também não podem receber nível elevado de pesticida, porque

seu efeito poderia afetar unidades vizinhas. O pesquisador deve buscar o recurso mais apropriado para cada situação. Separações mecânicas, como barreiras e telas, têm sido utilizadas para propósito de restringir a aplicação de fertilizantes aos limites das unidades a que se destinam e controlar interferências de efeitos de inseticidas decorrentes de migração de insetos.

A formulação de delineamento experimental que leve em conta a interferência de efeitos de tratamentos entre as unidades é uma alternativa que deve ser explorada quando o controle por técnicas experimentais não provê solução satisfatória.

g) A unidade experimental deve propiciar a mensuração das características respostas relevantes. Muito freqüentemente, a mensuração de características requer tamanho e composição apropriada da unidade. Por exemplo, a) em experimentos com plantas de propagação vegetativa a mensuração do enraizamento de estacas através de proporção ou percentagem de estacas enraizadas requer um grande número de estacas; b) em experimentos em que são feitas coletas periódicas de partes das unidades para mensurações a unidade deve ter tamanho no mínimo equivalente à reunião dessas partes; c) em experimentos em que uma característica resposta é mensurada pela contagem de indivíduos com alguma alternativa rara importante o número de indivíduos deve ser suficiente para que possam ser discriminados efeitos importantes dos tratamentos.

Em experimentos com dois ou mais fatores experimentais as considerações referentes a tamanho e composição da unidade experimental devem ser feitas para cada um dos fatores. As dimensões apropriadas para as unidades experimentais de dois fatores podem ser distintas. Nessas situações conveniências de ordem prática podem sugerir a adoção de estrutura de unidades com duas formações de unidades experimentais: uma formação constituída das unidades para o fator que requer unidade experimental de dimensão maior e outra, das unidades para o fator que pode ser acomodado em subdivisões ou subunidades daquelas unidades. Esse argumento estende-se para situações de mais de dois fatores experimentais cujos níveis demandem três ou mais dimensões diferentes de unidades experimentais.

Estruturas de unidades com duas ou mais formações de unidades experimentais implicam número igual de extratos do erro experimental que afeta efeitos de fatores experimentais. Essas estruturas de unidades podem ter inconvenientes que devem ser considerados: a) a variação devida às características estranhas é usualmente mais elevada entre unidades de maiores dimensões e b) o número de repetições dos níveis do fator acomodado nas subunidades é maior do que o número de repetições dos níveis dos fatores alocados nas unidades. Essas duas propriedades implicam que usualmente a estimativa da variância do erro que afeta efeitos do fator nas subunidades é menor do que a estimativa da variância do erro que afeta efeitos do fator nas unidades; conseqüentemente, a precisão das inferências referentes ao fator nas subunidades é comumente mais elevada que a precisão das inferências sobre o fator nas unidades. Nessas circunstâncias a adoção de subdivisões de unidades somente é justificada quando inferências referentes ao fator que requer unidade experimental de dimensão maior forem pouco relevantes.

A unidade experimental elementar pode compreender uma ou mais unidades de observação (**Seção 5.5**). Duas ou mais unidades de observação por unidade experimental elementar são úteis nas seguintes circunstâncias: a) a unidade experimental é constituída por dois ou mais indivíduos e a mensuração individual é mais prática do que a mensuração coletiva de todos os indivíduos na unidade; b) há interesse no valor da variável resposta para cada indivíduo. Pode ocorrer que a mensuração global da característica na unidade seja muito trabalhosa ou tenha custo elevado de modo que torne conveniente a mensuração de poucas frações da unidade. Nesse caso pode ser

importante que essas frações sejam escolhidas por processo que assegure a representação apropriada da unidade. Em algumas situações as frações escolhidas são agregadas para constituir uma única unidade de observação.

No caso de mais de uma unidade de observação por unidade experimental as relações entre as variabilidades e entre os custos da unidade experimental e da unidade de observação têm implicações para a precisão e o custo do experimento, respectivamente. Essas implicações são consideradas a seguir para a situação particular de experimento com um único fator experimental e igual número de repetições para todos os tratamentos.

a) A variância da estimativa de uma média de tratamento é expressa por:

$$\frac{\sigma_e^2}{r} + \frac{\sigma_o^2}{rk},$$

onde σ_e^2 e σ_o^2 são os componentes da variância atribuíveis à unidade experimental e à unidade de observação dentro de unidades experimentais, respectivamente, e r e k são o número de repetições por tratamento e o número de observações por unidade experimental. Assim, a precisão das inferências referentes a médias de tratamentos depende da relação entre a variabilidade das unidades experimentais e a variabilidade das unidades de observação dentro de unidades experimentais.

b) O custo do experimento por tratamento é:

$$C_t = rC_e + rkC_o,$$

onde C_e é o custo de uma unidade experimental independente do número de unidades de observação que a constitui e C_o é o custo de uma unidade de observação por unidade experimental que é independente do custo da unidade experimental. O custo total de um experimento de t tratamentos é $C = tC_t$. Assim, o tamanho ótimo da unidade experimental no que se refere ao custo depende da relação entre os custos por unidade experimental e por unidade de observação.

9.4.2.2 Forma da unidade experimental

Em experimentos em que a unidade experimental tem dimensão espacial a forma da unidade pode ter implicações importantes para a praticabilidade de operações que devem ser implementadas na unidade e para a precisão e a não tendenciosidade das inferências. Por exemplo, a) em experimentos de campo com plantio em linha a aplicação de pesticidas por meio de pulverizadores, a capina e a colheita podem ser facilitadas quando a parcela é alongada na direção das linhas; b) em experimentos em terreno plano, em que a heterogeneidade das características do solo tende a aumentar com a distância, pode ser lograda precisão mais elevada com formato de parcela aproximadamente quadrado; c) em experimentos em terreno com declive, onde a heterogeneidade das características do solo é mais acentuada na direção do gradiente máximo, pode ser obtida precisão mais elevada com parcelas alongadas com a maior dimensão nessa direção; d) em experimentos agrícolas em terreno plano, o confinamento da aplicação e dos efeitos de inseticidas, fungicidas, herbicidas e fertilizantes pode ser mais eficaz com o formato das unidades experimentais aproximadamente quadrado. Esses exemplos salientam que os critérios de facilidade prática de operações, precisão e não tendenciosidade podem conduzir a formas de unidade experimental distintas. Em geral, o pesquisador deve escolher uma forma conciliatória apropriada para cada situação particular.

A forma da unidade experimental que otimiza a precisão também depende do delineamento e particularmente da disposição e do número de unidades nos blocos, no caso de delineamento em blocos. Esse tema é considerado na **Seção 9.5**.

9.4.2.3 Determinação da forma e do tamanho da unidade experimental

As considerações anteriores evidenciam que a unidade experimental deve satisfazer muitos requisitos, alguns deles incompatíveis. Por essa razão, não há uma regra geral para a determinação da forma e do tamanho apropriado da unidade experimental. Para cada experimento particular, o pesquisador tem que definir a forma e o tamanho da unidade experimental que melhor satisfaça essas condições, levando em conta as importâncias relativas de suas implicações. Em áreas onde a pesquisa experimental está bem desenvolvida pesquisas de técnica experimental já estabeleceram as dimensões de unidades apropriadas para as situações mais comuns. Em agropecuária, por exemplo, existem informações para muitas espécies de plantas graníferas, hortícolas e frutícolas, e de animais produtores de carne e de leite. O pesquisador deve ter domínio dessa informação e efetuar pesquisas para completá-la, sempre que seja necessário. Pesquisas sobre técnicas experimentais são muito freqüentemente necessárias, especialmente em novas áreas e ambientes de pesquisa.

As expressões da variância da estimativa de uma média de tratamento e do custo do experimento por tratamento permitem a determinação do tamanho ótimo da unidade experimental referente à precisão e ao custo do experimento, respectivamente com base na grandeza relativa dos componentes de variância e nos custos relativos da unidade experimental e da unidade de observação (**Seção 9.4.2.1**).

A determinação do tamanho da unidade experimental com base nessas expressões é aplicável para situações de mais de uma unidade de observação por unidade experimental. Em muitas circunstâncias a forma da unidade pode ser tão importante como o seu tamanho. Muitos métodos têm sido propostos para consideração do tamanho e da forma da unidade experimental para várias situações e considerando diversos critérios; entre eles, o método da curvatura máxima e o método baseado na relação empírica entre o tamanho e a variância da unidade (lei de Fairfield Smith). Entretanto, por suas especificidades eles não são considerados aqui.

Exercícios 9.1

1. Explique o significado de amostra ou material experimental inicial, recorrendo a um exemplo de experimento de sua área, e sua relevância para a representatividade da amostra.
2. Ilustre um experimento tecnológico de sua área em que a amostra inicial deve ter abrangência ampla e outro em que pode ter abrangência restrita.
3. Explique a estratégia do controle experimental através de um exemplo de experimento de sua área.
4. Explique o racional da consideração da seguinte ordem dos procedimentos no planejamento do controle experimental: controle de técnicas experimentais, controle local, controle estatístico e casualização.
5. Considere um experimento de sua área e para a situação desse experimento:
 - a) descreva as características estranhas do material experimental inicial;
 - b) proceda a uma descrição do procedimento experimental a semelhança das ilustrações da **Seção 5.9**;
 - c) efetue uma descrição completa do conjunto das características estranhas que poderão constituir a amostra através de seus grandes agregados;
 - d) identifique em cada um desses agregados as características estranhas que você esperaria serem relevantes.
6. Classifique as características estranhas identificadas no exercício 5 d) nas três seguintes classes quanto à possibilidade e conveniência de serem submetidas a controle de técnicas experimentais: i) características passíveis de controle ilimitado; ii) características passíveis de controle limitado; e iii) características não passíveis de controle.

7. Explique e ilustre com a situação do experimento considerado no exercício 5 a distinção entre técnicas experimentais necessárias para o funcionamento das unidades e técnicas experimentais implementadas propositadamente para o controle experimental.
8. Explique os significados de período pré-experimental e período experimental e os descreva através de um exemplo de experimento de sua área.
9. Dê exemplos de técnicas experimentais para preparação do material experimental recorrendo à situação do experimento considerado no exercício 5 ou a outro exemplo de sua área.
10. Explique a relevância do planejamento do tamanho e da composição das unidades experimentais.
11. Porque em experimentos com animais e plantas muito freqüentemente a unidade experimental não pode compreender um único componente, ou seja, um único animal ou uma única planta?
12. Dê um exemplo de experimento de sua área em que pode haver interferência de efeitos de tratamentos alocados em unidades diferentes e descreva ações de controle de técnicas experimentais apropriadas para evitar tendenciosidade dessa origem.
13. Em que situações pode ser conveniente considerar duas ou mais unidades de observação por unidade experimental elementar? Ilustre com exemplos de sua área.
14. Proveja ilustrações de experimentos de sua área em que a forma da unidade experimental pode ter implicações relevantes para a praticabilidade de técnicas necessárias para o funcionamento das unidades.
15. Explique a relevância do conhecimento anterior e, quando esse conhecimento inexistente ou é insuficiente, da realização de pesquisas de técnicas experimentais para subsídio para o planejamento de experimentos.

9.4.3 Número de repetições apropriado

O número de repetições e o tamanho da unidade experimental estão relacionados estreitamente, já que para uma quantidade particular de material experimental a redução do tamanho da unidade experimental permite o aumento do número de repetições.

O número de repetições tem influência decisiva para a precisão das inferências (**Seção 6.5.3**). De fato, para uma composição particular das características estranhas do material experimental e na suposição de que o controle experimental esteja estabelecido, a adoção do número de repetições apropriado é um recurso para lograr a detecção de efeitos de fatores experimentais.

A determinação do número de repetições apropriado é uma questão complexa para a qual não há resposta simples. A resposta requer informações que dependem das circunstâncias de cada experimento, particularmente sobre:

- a) o material experimental disponível,
- b) a variabilidade das características estranhas,
- c) a estrutura das condições experimentais,
- d) a grandeza do efeito que é de importância e
- e) a importância relativa das comparações.

O procedimento para determinação do número mínimo de repetições requerido depende do delineamento experimental. Será considerada inicialmente a situação mais simples de um único fator experimental, tratamentos com igual número de repetições e delineamento ortogonal.

Suponha-se que o experimento tenha como propósito comparações simples de tratamentos bilaterais (**Seção 6.5.7**). Então, se o desvio padrão por unidade é σ , o **número de repetições requerido** r para uma probabilidade $1-\beta$ de declarar a existência de uma diferença real δ entre as médias de dois tratamentos quando ela realmente existe e uma probabilidade α de declarar a existência dessa diferença quando ela não existe é:

$$r \geq 2(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \left(\frac{\sigma}{\delta} \right)^2,$$

onde Z_p é o ponto P-percentual superior da distribuição normal padrão, ou seja, o valor de uma variável aleatória Z com distribuição normal com média zero e variância um que limita uma cauda superior igual a P : $P = P(z > Z_p)$. As probabilidades α e β devem ser baseadas, respectivamente, em riscos aceitáveis de erro tipo 1 e erro tipo 2.

Para comparações simples unilaterais o valor $Z_{\alpha/2}$ deve ser substituído por Z_{α} .

Esse procedimento requer informações e decisões sobre:

- uma estimativa da variância do erro experimental σ^2 ,
- a grandeza da diferença que deve ser detectada (δ),
- a confiança com que é desejado detectar a diferença ($1-\beta$: potência do teste),
- nível de significância a ser usado nas comparações dos tratamentos (α : probabilidade de erro tipo 1) e
- o teste a ser adotado: bilateral ou unilateral.

O número requerido de repetições geralmente aumenta se:

- o desvio padrão σ cresce,
- o tamanho da diferença a ser detectada δ aumenta,
- a probabilidade β do erro tipo 2 diminui e
- a probabilidade α do erro tipo 1 diminui.

O uso dessa expressão tem algumas dificuldades. Primeiramente, o valor de r depende da variável resposta. Portanto, em experimentos com mais de uma variável resposta relevante o valor determinado para r geralmente não é único. Nesse caso, em princípio, o valor escolhido para r deve ser o maior dos valores determinados para cada uma das variáveis respostas. Segundo, o pesquisador deve atribuir valores apropriados para a diferença δ e as probabilidades α e β dos erros tipo 1 e tipo 2. Em geral, a diferença a detectar δ deve ser estabelecida segundo o significado da variável resposta. Em experimentos tecnológicos, se a variável resposta exprime uma característica referente à produção, são usualmente importantes considerações referentes à qualidade e ao valor do produto. Em algumas situações, apenas diferenças grandes são importantes; em outras, diferenças pequenas já são importantes. Nesses experimentos pode ser conveniente que a escolha de δ seja estabelecida com o consenso de pesquisadores e usuários da pesquisa. As escolhas das probabilidades α e β requerem a compreensão dos significados dos erros tipo 1 e tipo 2, e a avaliação da gravidade desses dois tipos de erros de decisão. O pesquisador tem que ser criterioso nessas escolhas e levar em conta que não deve atribuir valores muito pequenos para ambos α e β , pois o valor de r cresce com a diminuição dos valores de α e β .

Outra dificuldade é o usual desconhecimento da variância populacional σ^2 o que requer a utilização de algum valor apropriado em seu lugar. O problema é que, se a variância σ^2 é subestimada, o valor determinado para r é menor do que o requerido, o que implica que a potência do teste $1-\beta$ é superestimada; se σ^2 é superestimada, r é maior do que requerido e a potência do teste é subestimada. Esse problema pode ser contornado pela definição da diferença δ em termos do desvio padrão σ , ou seja, pela expressão de δ como proporção ou percentagem de σ . Por exemplo, δ pode ser especificado como igual a 1, 2 ou 3 desvios padrões, o que implica razão σ/δ igual a 1,

1/2 ou 1/3, respectivamente. Entretanto, com esse procedimento a diferença δ detectada não será exatamente aquela desejada.

De qualquer forma, usualmente a variância σ^2 deve ser substituída por algum valor apropriado. Estimativas de variância do erro experimental s^2 providas por experimentos semelhantes já realizados são a melhor base para a escolha de um substituto para σ^2 . Com esse recurso o número de repetições requerido r deve ser ajustado para os graus de liberdade ν_r da estimativa do erro provida por um experimento com r repetições. O número mínimo de repetições ajustado r' é provido pela expressão:

$$r' = \frac{\nu_r + 3}{\nu_r + 1} r.$$

Exemplo 9.9

Suponha-se que está sendo planejado um experimento para comparação de seis cultivares de ervilha: 1-Única, 2-Profusion, 3-Roi des Fins Verts, 4-Early Harvest, 5-Annonay, 6-Fins des Gourmets quanto à produção de grãos com delineamento de blocos de 6 parcelas. É desejado que as comparações simples desses tratamentos detectem diferenças reais de 500kg/ha, qualquer que seja seu sinal, com probabilidade $1-\beta=0,80$ de detectar uma diferença real dessa grandeza e probabilidade $\alpha=0,05$ de detectá-la quando ela não existe.

A estimativa da variância da produção de grãos, em decagramas por parcela de $4m^2$, obtida de experimento semelhante realizado anteriormente em condições de solo e de clima também semelhantes é $s^2 = 149,3$ com 15 graus de liberdade. Então, $s=12,22 \text{ dag}/4m^2 = 305\text{kg}/ha$. Da **Tabela A-2** do **Apêndice** obtém-se: $Z_{0,025} = 1,96$ e $Z_{0,20} = 0,84$. O número mínimo de repetições requerido é:

$$r \geq 2(1,96 + 0,84)^2 \left(\frac{305}{500} \right)^2 = 5,8.$$

O número de graus de liberdade do erro para delineamento em blocos com 6 tratamentos e uma repetição completa dos tratamentos em cada um dos blocos é $(6-1)(6-1) = 25$. Então, o número de repetições ajustado é:

$$r' \geq \frac{25 + 3}{25 + 1} \times 5,8 = 6,3.$$

Portanto, o número de repetições requerido ajustado para os graus de liberdade é igual a 7.

Pode-se verificar que os números de repetições ajustados para $\delta = \sigma$, 2σ e 3σ com σ estimado por $s=305 \text{ kg}/ha$ são: 17, 5 e 3, respectivamente.

Em algumas situações o número de unidades experimentais requerido é pré-determinado pelos recursos disponíveis e, conseqüentemente, o número de repetições é estabelecido pelo número de tratamentos. Se o número de repetições é igual para todos os tratamentos, $r = N/t$, onde N e t são, respectivamente, o número de unidades experimentais e o número de tratamentos. Nessas circunstâncias, o pesquisador não pode planejar o experimento apropriado para detectar uma dada diferença de médias de tratamentos. Entretanto, ele pode avaliar a precisão e, portanto, a grandeza da diferença das médias de dois tratamentos que o experimento poderá detectar com r repetições para uma probabilidade $1-\beta$ de declarar corretamente essa diferença e uma probabilidade α de declarar sua existência incorretamente. A **diferença mínima detectável** δ nessas circunstâncias é dada pela seguinte expressão, que pode ser obtida a partir da expressão daquela que provê o número mínimo de repetições r :

$$\delta \geq (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta}) \sqrt{\frac{2}{r}} \sigma.$$

Exemplo 9.10

Seja o experimento para comparação de cultivares de ervilha considerado no **Exemplo 9.9**. Suponha-se que o pesquisador é condicionado a planejar o experimento com 4 repetições e que deseja saber a grandeza da diferença de médias de cultivares que pode ser detectada pelas comparações, qualquer que seja seu sinal, com probabilidade $1-\beta=0,90$ de que essa diferença seja declarada corretamente e probabilidade $\alpha=0,05$ de que seja declarada a existência dessa diferença quando ela não existe.

Para $r=4$ repetições, obtém-se:

$$\delta \geq (1,96+0,84)\sqrt{\frac{2}{4}}305 = 603,9 \text{ kg/ha.}$$

Pode-se verificar que as diferenças detectáveis para números mais elevados de repetições são menores; por exemplo, para $r = 6, 8$ e 10 obtém-se as diferenças mínimas detectáveis 493,1 kg/ha, 427,0 kg/ha e 381,9 kg/ha, respectivamente.

Pode ocorrer que o experimento requeira número de repetições muito maior do que os recursos disponíveis permitem. Nessas circunstância a informação de que um experimento satisfatório é inviável com esses recursos pode ser útil para a busca de alternativas que possam propiciar a diminuição da variância do erro experimental σ^2 . Para um dado número de repetições muito freqüentemente a estimativa da variância σ^2 pode ser reduzida pela escolha apropriada do tamanho da unidade experimental, pela adoção de controle de técnicas experimentais e controle local mais eficazes, e por delineamento experimental alternativo. Outras possibilidades também podem ser consideradas, como a combinação em um único experimento grande de fatores experimentais que estejam sendo considerados para pesquisa em experimentos separados.

Se essas alternativas não forem apropriadas, o pesquisador deve tomar uma de duas soluções: a) admitir riscos maiores de erros tipo 1 e tipo 2, ou seja, adotar valores maiores para α e β , ou não realizar o experimento. Particularmente, ele pode especular sobre os pares de valores de α e β para os quais os recursos disponíveis permitem a adoção do número de repetições necessário para detectar uma diferença desejável.

As inferências de interesse podem não se referir a comparações simples de tratamentos, mas a comparações que envolvam grupos de tratamentos. Esse mesmo procedimento pode ser utilizado para essas comparações mais genéricas. A expressão do número de repetições requerido pode ser derivada da expressão da diferença mínima detectável como segue. A expressão para situação de duas médias de tratamentos corresponde a:

$$\delta \geq (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})\sigma_d,$$

onde $\sigma_d = \sqrt{\frac{2}{r}}\sigma$ é o erro padrão da diferença das estimativas das duas médias. Uma comparação ou diferença genérica de médias populacionais de t tratamentos: m_1, m_2, \dots, m_t é expressa por (**Seção 8.6.1**):

$$C = c_1 m_1 + c_2 m_2 + \dots + c_t m_t,$$

onde c_1, c_2, \dots, c_t são constantes apropriadas para cada comparação particular. Se os t tratamentos têm o mesmo número de repetições r , o erro padrão da estimativa dessa comparação é:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_t^2}{r}} \sigma.$$

Então, a expressão da diferença mínima detectável para essa comparação ou diferença de médias de tratamentos mais genérica é:

$$\delta \geq (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta}) \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_t^2}{r}} \sigma.$$

Logo, a expressão do número de repetições requerido sem ajustamento para graus de liberdade é:

$$r \geq (c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_t^2) (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \left(\frac{\sigma}{\delta}\right)^2.$$

Exemplo 9.11

Suponha-se que esteja sendo planejado um experimento para pesquisa do controle de doenças fúngicas do trigo por meio do fungicida Vitavax aplicado na semente e, adicionalmente, em pulverização da lavoura, com os seguintes tratamentos: t_1 - controle (sem fungicida), t_2 - tratamento da semente com Vitavax e t_3 - tratamento da semente e pulverização da lavoura com Vitavax. Esse experimento deve ser conduzido em um único local e ano, em terreno considerado heterogêneo. Por essa razão, o delineamento experimental deverá compreender a formação de blocos de 3 parcelas a cada um dos quais será assinalada uma repetição dos 3 tratamentos.

A estimativa do desvio padrão referente à produção de grãos obtida de experimento semelhante realizado anteriormente em condições comparáveis é 124kg/ha com $(3-1)(8-1)=14$ graus de liberdade.

Segundo os objetivos do experimento, são de interesse as seguintes comparações de tratamentos:

- Efeito da aplicação do Vitavax: t_1 versus (t_2, t_3) ,
- Efeito da aplicação adicional do Vitavax em pulverização da lavoura: (t_2) versus (t_3) .

Para ilustração, considere-se a primeira comparação: $-2m_1+m_2+m_3$ e suponha-se que é desejado detectar um efeito de fungicida de 250 kg/ha com probabilidade de 80% de declarar a existência de efeito do Vitavax quando ele realmente existe e probabilidade de 10% do erro de declarar a existência desse efeito quando ele não existe.

Para essa comparação tem-se: $c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 = (-2)^2 + 1^2 + 1^2 = 6$. Como é esperado que o Vitavax não tenha efeito prejudicial para a produção, a comparação a considerar é unilateral. Da tabela da distribuição normal padrão (**Tabela A-2**) obtém-se: $Z_{0,10}=1,28$ e $Z_{0,20}=0,84$.

Então, o número de repetições requerido sem ajustamento para graus de liberdade é:

$$r \geq 6(1,28+0,84)^2 \left(\frac{124}{250}\right)^2 = 6,63$$

O ajustamento para os graus de liberdade $(3-1)(6-1)=12$ graus de liberdade resulta:

$$r' \geq \frac{12+3}{12+1} \times 6,6 = 7,7.$$

Logo, o número de repetições requerido é $r=8$.

Até aqui, foi considerada a situação de igual número de repetições para todos os tratamentos. Essa distribuição das unidades experimentais entre os tratamentos é apropriada quando as inferências de interesse são as comparações simples dos tratamentos e essas comparações são igualmente importantes. Quando as inferências importantes referem-se a comparações que envolvam mais de dois tratamentos, ou seja, comparações de grupos de tratamentos, ou a um subconjunto das comparações simples, o número de repetições apropriado geralmente não é o mesmo para todos os tratamentos.

Em experimentos com um tratamento controle que constitui termo de comparação para os demais tratamentos há duas possibilidades quanto às inferências relevantes. A primeira é aquela em que as inferências de interesse são as comparações individuais dos tratamentos alternativos com o tratamento controle, sendo as comparações simples dos tratamentos alternativos de menos importância. Se o conjunto dos tratamentos compreende um controle e p tratamentos alternativos e as comparações simples dos tratamentos alternativos com o controle são igualmente importantes, pode ser mostrado que a precisão dessas comparações é mais elevada quando os tratamentos alternativos têm o mesmo número de repetições e há $I(\sqrt{p})$ unidades experimentais com o tratamento controle para uma unidade experimental com cada um dos tratamentos alternativos, onde $I(\sqrt{p})$ denota a parte inteira do número \sqrt{p} . Por exemplo, em um experimento para pesquisa da eficácia de inseticidas para o controle de uma praga com 5 inseticidas e um tratamento controle correspondente à ausência de inseticida são relevantes as 5 comparações individuais dos inseticidas com o controle. Então, se são atribuídas r_a repetições para cada um dos tratamentos alternativos, o número de repetições do tratamento controle deve ser $r_c = I(\sqrt{5}) r_a$, ou seja, $r_c = 2r_a$. Logo, o número de parcelas do experimento será $7r_a$.

A segunda situação é quando há maior interesse na comparação do tratamento controle com o conjunto dos tratamentos p alternativos, ou seja, a comparação da média do tratamento controle com a média dos tratamentos alternativos. Nesse caso os tratamentos alternativos devem ter o mesmo número de repetições e o número de repetições do tratamento controle deve ser igual a p vezes o número de repetições dos tratamentos alternativos, ou seja, a relação entre os números de repetições do tratamento controle e dos tratamentos alternativos deve ser: $r_c = pr_a$. Por exemplo, em um experimento de nutrição animal com um tratamento controle correspondente à ausência de um componente da dieta e 5 tratamentos com quantidades substanciais desse componente, a comparação mais relevante é a que exprime o efeito desse componente, ou seja, a comparação do tratamento controle com o conjunto dos 5 tratamentos com a presença do componente. Então, se são alocadas r_a repetições para cada um dos tratamentos alternativos, o tratamento controle deve ter $r_c = 5r_a$ repetições.

As considerações anteriores restringiram-se à situação de um fator experimental e delineamento ortogonal. No caso de dois ou mais fatores experimentais e delineamento ortogonal, as comparações consideradas para a determinação dos números de repetições necessários podem ser comparações de efeitos principais, ou seja, comparações de médias dos níveis de um dos fatores globais para os níveis dos outros fatores, ou comparações de efeitos simples, isto é, comparações de médias dos níveis de um fator para combinações particulares dos níveis dos outros fatores. A expressão do número de repetições requerido estende-se para essas situações com a consideração de r como o produto do número de repetições por números de níveis de fatores (**Seção 6.4**).

Para experimentos com delineamentos experimentais mais complexos há uma ampla gama de procedimentos que variam segundo o efeito de interesse e o delineamento. Esses procedimentos podem ser encontrados na bibliografia indicada no final deste **Capítulo**, particularmente em Zar (1999) e Kuehl (2000).

Em alguns experimentos as unidades de observação são plantas ou animais de grande porte, como frutíferas e arbóreas, ou bovinos e ovinos, e as unidades experimentais são constituídas de dois ou mais indivíduos que constituem unidades de observação. Nessas circunstâncias o pesquisador deve decidir não apenas sobre o número de unidades experimentais, mas, também, sobre o número de unidades de observação por unidade experimental.

Levando em conta apenas os custos relativos da unidade de observação e da unidade experimental, é evidente que, se o custo de observações múltiplas na mesma unidade experimental é o mesmo de adotar o correspondente número de unidades experimentais, a melhor solução é ter tantas unidades experimentais quanto necessário com apenas uma unidade de observação em cada uma dessas unidades, ou duas no caso de interesse na variação dentro de unidade experimental. Por outro lado, se, como é mais usual, a unidade experimental tem custo mais elevado, será melhor o uso de poucas unidades experimentais, com um número relativamente grande de unidades de observação em cada unidade experimental. Por exemplo, em um experimento sobre o controle de uma infecção de bovinos de corte com antibióticos em que os animais são mantidos em um potreiro comum o custo de uma unidade experimental com dois animais é o mesmo de duas unidades experimentais com um animal. Nesse caso, evidentemente, não há porque considerar mais de uma unidade de observação por unidade experimental. Entretanto, em um experimento de lotação de animais de corte em pastoreio em que a unidade experimental é um potreiro com um ou mais animais, o custo de dois potreiros cada um com um animal é consideravelmente mais elevado do que o de um potreiro com dois animais. Nesse caso é melhor usar um pequeno número de unidades experimentais cada uma com um grande número de unidades de observação.

Todavia a decisão usualmente não é tão simples, pois devem ser levados em consideração os requisitos referentes a tamanho e composição da unidade experimental (**Seção 9.4.2.1**) e a precisão das inferências (**Seção 6.5.3**).

Se o número de observações é igual em todas as unidades experimentais, a variância do erro experimental por unidade experimental é:

$$\sqrt{\sigma_e^2 + \frac{\sigma_o^2}{k}},$$

onde σ_e^2 é a variância entre unidades experimentais, σ_o^2 é a variância entre unidades de observação dentro de unidade experimental e k é o número de unidades de observação por unidade experimental. Então, na situação de um único fator experimental, mesmo número de repetições para todos os tratamentos e delineamento ortogonal, o erro padrão da estimativa da diferença de duas médias de tratamentos é:

$$\sqrt{\frac{2}{r} \left(\sigma_e^2 + \frac{\sigma_o^2}{k} \right)}.$$

Assim, se o pesquisador tem informação sobre a grandeza relativa das variâncias σ_e^2 e σ_o^2 baseada em experimentos realizados anteriormente em circunstâncias semelhantes, ele pode determinar a relação entre o número de repetições r e o número de unidades de observação por unidade experimental k que minimiza esse erro padrão e, portanto, maximiza a precisão das comparações de médias de tratamentos.

Se for possível avaliar os custos relativos da unidade de observação e da unidade experimental, pode ser determinada a relação entre r e k mais econômica para produzir um dado erro padrão.

9.4.4 Preparação das condições experimentais

O controle de técnicas experimentais deve ser utilizado para garantir a conformidade das condições experimentais a serem implementadas com as definições correspondentes estabelecidas no plano do experimento. Essas técnicas experimentais devem evitar o confundimento das características inerentes às condições experimentais com características estranhas, de modo que seja garantida, tanto quanto possível, a implementação das condições experimentais segundo suas respectivas definições.

Exemplo 9.12

a) Se as condições experimentais são cultivares (níveis de fator de tratamento), devem ser utilizadas as técnicas experimentais apropriadas para que as sementes distingam-se, tanto quanto possível, apenas pelas características inerentes à constituição genética das cultivares. Essas técnicas experimentais devem evitar o confundimento das características genéticas da semente inerentes à cultivar com características estranhas também constituintes da semente, tais como as características referentes a sanidade, pureza e vigor.

b) Se as condições experimentais são raças (níveis de fator intrínseco), os animais escolhidos para a amostra devem distinguir-se, tanto quanto possível, apenas por características inerentes às raças. Para tal, devem ser obtidos animais com as demais características tão similares quanto possível, ou seja, animais de idades e pesos corporais próximos, submetidos a mesmo manejo, com estado sanitário semelhante, etc.

Considerações semelhantes valem para tratamentos especialmente preparados para o experimento, que nesse caso constituem simulações de condições da população objetivo.

Exemplo 9.13

São exemplos de tratamentos especialmente preparados para o experimento os níveis dos fatores experimentais:

a) percentagem de umidade da semente e temperatura do ambiente, em um experimento de armazenamento de semente;

b) altura da lâmina de água, em um experimento de irrigação por inundação; e

c) infestação do animal, em um experimento para pesquisa do efeito da carga de parasitos sobre o desempenho animal em que são provocadas infestações nos correspondentes níveis do fator experimental.

9.4.5 Período pré-experimental

Em alguns experimentos com animais, pode ser requerido um **período pré-experimental** para a preparação ou adaptação dos animais de modo que eles simulem as condições dos indivíduos da população objetivo ou adquiram adaptação uniforme ao ambiente e ao manejo aos quais estarão sujeitos no período experimental.

Exemplo 9.14

a) Em experimentos com animais que devem ser dispostos em instalações ou ambientes não usuais, ou quando os animais provêm de instalações ou ambientes heterogêneos, pode ser conveniente um período preliminar de adaptação dos animais às instalações e ao ambiente do experimento.

b) Em experimentos de nutrição animal com animais que foram anteriormente submetidos a dietas ou sistemas alimentares diferentes pode ser conveniente um período preliminar de administração de uma dieta uniforme ou condicionamento a um sistema alimentar comum. Em algumas circunstâncias, pode ser apropriada a administração das dietas ou sistemas alimentares aos quais os animais estarão sujeitos no experimento.

9.4.6 Preparação do pessoal técnico

Em experimentos em que é importante a participação de pessoal técnico e auxiliar, tal como operadores, provadores e indivíduos envolvidos em alguma atividade de manejo com o material experimental pode ser requerido o treinamento desses indivíduos para capacitação e uniformização de habilidades. Nessas circunstâncias, pode ser importante a preparação de instruções escritas referentes às técnicas experimentais a serem implementadas e o seguimento estrito dessas instruções.

9.4.7 Execução do experimento

A execução do experimento compreende o período de funcionamento ou operação das unidades, que é usualmente denominado **período experimental**.

Nesse período é executada parte das ações referentes à coleta dos dados. Outra parte é procedida após o encerramento do período experimental e compreende as tarefas de mensuração e de registro dos dados que requerem instalações, instrumentos e procedimentos apropriados, incluindo laboratórios para análises. Pela sua relevância, tratar-se-á da coleta dos dados a parte, na **Seção 9.4.8**.

Por conveniência de exposição, distinguir-se-ão os dois seguintes tópicos referentes ao período experimental:

- funcionamento das unidades e
- aplicação dos tratamentos.

Funcionamento ou operação das unidades

O período experimental envolve uma grande quantidade e variedade de técnicas experimentais que correspondem aos procedimentos usuais requeridos para o funcionamento ou operação das unidades da população objetivo, e ações próprias para controle experimental. Por exemplo, são procedimentos usuais em experimentos com plantas as técnicas de cultivo (também denominadas práticas de cultivo ou tratamentos culturais); em experimentos com animais, as técnicas de criação (ou práticas de criação, ou técnicas de manejo). O **Exemplo 9.15** apresenta ilustrações dessas técnicas experimentais.

Exemplo 9.15

Exemplos de técnicas experimentais que constituem procedimentos usuais na população objetivo:

- a) em experimentos agrícolas de campo, as técnicas de cultivo dependem da espécie e do sistema de cultivo; em geral, compreendem procedimentos e ações referentes a: preparação do solo, plantio, aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas, proteção contra predadores, irrigação, drenagem, capina, transplante, desbaste de frutos, proteção contra vento, colheita, etc.;
- b) em um experimento com animais, técnicas de criação compreendem procedimentos e ações referentes a: suprimento de ração e água, tratamentos sanitários, proteção contra doenças, parasitas, predadores, vento, etc.

É recomendável que essas técnicas experimentais sejam cuidadosamente elaboradas e implementadas com vistas ao controle experimental, de modo que não impliquem em fontes de variação estranha relevante.

Por outro lado, pode ser conveniente que algumas técnicas que não constituem procedimentos ou práticas usuais nas unidades da população objetivo sejam empregadas intencionalmente com o propósito de controle experimental. Técnicas experimentais dessa origem são ilustradas no **Exemplo 9.16**.

Exemplo 9.16

Exemplos de técnicas experimentais que não constituem procedimentos ou práticas usuais nas unidades da população objetivo:

- a) em um experimento agrícola de campo, uniformização de características da semente e da data de plantio, e homogeneização do número de sementes plantadas por parcela ou redução das plantas que emergem a um mesmo número por parcela;
- b) em um experimento com animais, uniformização das instalações e dos animais, e controle rigoroso da lotação e do provimento de ração e de água.

O controle de técnicas experimentais referentes à operação das unidades deve ser implementado com cuidados especiais em experimentos tecnológicos de ampla abrangência espacial e temporal, em experimentos de longa duração e em experimentos executados em mais de uma etapa. Nesses experimentos o controle de técnicas experimentais deve ser efetuado uniformemente em todas as seções do espaço e ao longo do tempo. Em experimentos básicos, conduzidos em laboratório, estufa ou casa de vegetação, o controle de técnicas experimentais pode ser utilizado mais intensivamente e de modo mais refinado e eficiente.

Aplicação dos tratamentos

Os tratamentos devem ser aplicados às unidades experimentais por processo aleatório que leve em conta apropriadamente a estrutura das unidades determinada pelo controle local (**Seção 9.5**).

A aplicação dos tratamentos envolve um conjunto de técnicas experimentais importantes que devem ser implementadas com proveito para o aumento da precisão e da validade do experimento (**Seções 6.5.3 e 6.5.4**).

Os tratamentos devem ser aplicados conforme as definições estabelecidas no planejamento das condições experimentais, particularmente nas ocasiões e segundo os esquemas especificados. Ressalvadas essas definições, os procedimentos de aplicação devem ser uniformes para todos os tratamentos. Essas considerações são especialmente relevantes em experimentos de ampla abrangência, repetidos em diversos locais de uma região e em vários períodos de um intervalo de tempo, como é o caso de experimentos agrícolas com plantas anuais, e em experimentos de longa duração, como experimentos com plantas perenes e certos experimentos de fertilização do solo e com animais.

Os tratamentos prescritos podem requerer aplicação única ou múltipla, em momentos ou intervalos de tempo coincidentes ou não, de amplitudes iguais ou diferentes (**Seção 8.2.1**). Por exemplo, cultivares podem requerer aplicação simultânea, na época de plantio apropriada, enquanto que as aplicações de inseticidas, antibióticos e dietas podem ter diversas definições, que podem compreender: aplicação única simultânea ou em diversos instantes distintos, ou aplicação múltipla em instantes comuns ou diversificados, segundo esquemas apropriados. No caso de aplicação única em um mesmo momento, deve ser garantido que as aplicações dos distintos tratamentos abranja período suficientemente curto de modo que não decorram efeitos diferenciais para os tratamentos. No caso de aplicação em diversos instantes, o cronograma de aplicação deve ser obedecido estritamente.

Em alguns experimentos as aplicações de tratamentos distintos podem requerer amplitudes de tempo diferentes. Nesse caso, freqüentemente há mais de uma alternativa para a escolha apropriada; entre elas, períodos de aplicação com início no mesmo instante e término variável, ou início em instantes diferentes de modo que os termos coincidam.

Qualquer desvio das definições estabelecidas implica confundimento de efeitos de tratamentos com efeitos de características estranhas que se alteram com o tempo. Devem ser utilizadas técnicas experimentais apropriadas para garantir que seja lograda a comparabilidade dos tratamentos conforme as definições estabelecidas no plano do experimento.

9.4.8 Coleta dos dados

Os dados de um experimento são os resultados das mensurações de características importantes das unidades da amostra. Os dados mais relevantes são usualmente os valores das variáveis respostas originais, registrados nas correspondentes unidades de observação. A caracterização das variáveis respostas foi considerada no

Capítulo 7. Também podem ser importantes dados de variáveis que expressem características estranhas e características explanatórias consideradas a seguir.

a) Co-variáveis estranhas para controle estatístico: Dados de co-variáveis (ou variáveis concomitantes) que expressem características estranhas relevantes, para propósito de controle experimental (**Seções 5.6.3 e 9.6**).

b) Co-variáveis explanatórias para detecção de interações: Dados de co-variáveis que expressem características das unidades que possam interagir com efeitos dos tratamentos, para verificar se os efeitos dos tratamentos sobre variáveis respostas variam com essas características. (**Seção 5.8**).

c) Co-variáveis explanatórias para explicação da variação de valores de variáveis respostas: Dados de co-variáveis que expressem características das unidades que possam ter efeitos relevantes sobre características respostas que se confundam com efeitos de fatores experimentais (**Seção 5.8**).

d) Variáveis necessárias para determinação de valores de variáveis respostas derivadas: Dados de variáveis que expressem características estranhas necessários para a derivação de dados de variáveis respostas (**Seção 7.2**).

e) Variáveis que representem características estranhas perturbadoras: A execução cuidadosa do experimento inclui observações de rotina para detecção de ocorrências estranhas relevantes. Dados dessas observações podem ser úteis para consideração nos procedimentos de inferência e na interpretação dos resultados do experimento. Em algumas circunstâncias, eles possibilitam a correção ou ajustamento para influências de características estranhas perturbadoras. Esse é o caso; por exemplo, quando algumas plantas ou animais são prejudicados ou morrem em decorrência de incidência de alguma praga ou doença, ou ataque por predador. Se todas as unidades afetadas são identificadas, o confundimento que decorreria para os efeitos atribuíveis a fatores experimentais pode ser evitado com a desconsideração dessas unidades na análise estatística dos resultados. As unidades desconsideradas por essa razão são usualmente designadas **unidades perdidas** ou **parcelas perdidas**. Esse procedimento constitui, de fato, o controle estatístico da característica estranha perturbadora.

f) Variáveis que expressem os níveis de um fator quantitativo para verificar se os níveis aplicados na amostra são aqueles definidos para a população objetivo. Em algumas situações pode ser difícil ou inviável a aplicação das quantidades correspondentes aos níveis de um fator quantitativo exatamente como definidas. Por exemplo, quando os níveis correspondem a diferentes temperaturas de um ambiente ou umidades da semente. Nessas circunstâncias, pode ser importante verificar se os tratamentos realmente aplicados correspondem aos tratamentos definidos no plano do experimento; no exemplo, se as temperaturas ou umidades foram de fato obtidas. Se for detectada alguma discrepância relevante entre os níveis reais e os níveis nominais do fator, e for impossível uma ação corretiva, pode ser conveniente efetuar algum ajustamento dos valores observados da variável resposta para correção dessa discrepância através de procedimento apropriado de análise estatística.

As mensurações para geração dos dados são executadas antes, durante e após o período experimental. Mensurações de características estranhas são efetuadas antes e durante o período experimental, neste último caso no próprio local de execução do experimento. Características respostas podem ser originais ou derivadas (**Seção 7.2**). Algumas características respostas originais podem referir-se ao desempenho das unidades na fase de sua operação; dados referentes a essas características são usualmente registrados durante o período experimental, no local da condução do experimento. Usualmente, entretanto, as características respostas originais mais importantes são características do produto das unidades. Essas características respostas são mensuradas ao encerramento do período experimental, no próprio local da execução do experimento, ou após o encerramento desse período, através de partes coletadas do

produto, em instalações apropriadas. Estas últimas mensurações podem compreender processos de análise bastante elaborados.

Características respostas derivadas ou compostas são definidas por relações de características respostas originais ou puras e de características estranhas. Assim, essas características não são mensuradas diretamente; valores de variáveis respostas que as representam são obtidos através de operações aritméticas com valores de variáveis respostas e de variáveis estranhas.

A mensuração de características respostas originais e de características estranhas relevantes pode demandar técnicas experimentais desde as mais simples até as mais elaboradas. Algumas técnicas e procedimentos referentes à coleta de dados foram referidos nas **Seções 7.3 e 7.4**, que tratam de escalas e unidades de medida, e de processos de mensuração de características respostas.

Experimentos de ampla abrangência e experimentos de longa duração usualmente compreendem a coleta periódica de dados que abrange intervalo de tempo bastante longo. Esse é o caso de alguns experimentos de melhoramento genético e de fertilização do solo, e de muitos experimentos com animais e plantas perenes.

A sistematização e, sempre que possível, a automação da coleta dos dados são importantes para evitar erros de registro e de transcrição de dados. A disponibilidade de instrumentos apropriados permite que o registro de dados de certas variáveis possa ser efetuado automaticamente, sem a intervenção humana. Apesar dos avanços no registro automático de dados, os métodos de registro de resultados de experimentos mais amplamente utilizados ainda são manuais. Nessas circunstâncias, devem ser utilizados planilhas ou formulários próprios para o registro dos dados, na forma apropriada para a edição de um arquivo de dados em meio magnético. A forma mais usual e geralmente recomendada é a disposição dos dados em uma tabela de dupla-entrada, com as variáveis dispostas nas colunas e as observações nas linhas. A ordenação das variáveis nas colunas e das observações nas linhas é arbitrária e deve ser determinada segundo a conveniência. Geralmente, é conveniente que a tabela seja preenchida da esquerda para direita, na medida em que os dados se tornem disponíveis. Para tal, os fatores experimentais devem ser assinalados às primeiras colunas; os fatores de unidade, ou seja, as variáveis que exprimem características estranhas controladas por controle local, a um segundo conjunto de colunas; as co-variáveis explanatórias e estranhas a um terceiro conjunto de colunas; e, finalmente, as variáveis respostas originais devem ser alocadas às últimas colunas, na ordem em que seus valores serão registrados (**Figura 9.1**). Semelhantemente, é conveniente que a disposição das observações nas linhas seja aquela em que os dados serão registrados.

Obs.	Fatores experimentais			Fatores de unidade			Co-variáveis			Variáveis respostas		
	FE ₁	FE ₂	...	FU ₁	FU ₂	...	C ₁	C ₂	...	R ₁	R ₂	...
1												
2												
...												

Figura 9.1. Formato de planilha para o registro de dados de experimentos.

Na impossibilidade de registro automático dos dados, esse procedimento evita a transcrição de dados. Nessas planilhas, as variáveis são usualmente representadas por abreviaturas ou siglas. A planilha definida para o registro dos dados deve constar do protocolo do experimento, onde as variáveis devem ser claramente descritas, com a especificação das escalas e unidades de medida a serem utilizadas.

Dados de variáveis nominais e ordinais e de variáveis racionais que exprimem contagens usualmente são números inteiros não negativos exatos de poucos dígitos. Entretanto, dados de variáveis intervalares e racionais, em geral, são números reais não exatos tomados como aproximações para os valores verdadeiros das grandezas mensuradas com um certo nível de precisão dependente do instrumento de mensuração. Nessas circunstâncias, devem ser adotados critérios apropriados para a decisão referente à precisão do processo de mensuração e ao número de dígitos a considerar no registro dos dados.

Em geral, a inexatidão dos dados resultantes de um processo de mensuração é devida à inabilidade para a mensuração exata ou falta de interesse para mensuração mais exata, porque valores mais exatos não aumentariam a utilidade do resultado. O número de dígitos (algarismos) nos dados de uma variável que exprimem a precisão do processo de mensuração é denominado **número de dígitos significativos**. Convencionalmente, o último algarismo de um número é aquele que foi obtido com alguma incerteza, isto é, foi aproximado por arredondamento. A convenção usual de aproximação por arredondamento é a seguinte:

- a) se o primeiro algarismo à direita do último dígito a ser conservado é menor do que 5, esse último dígito não é alterado; assim, 7,549 torna-se 7,5 quando é arredondado para dois dígitos, ou para uma casa decimal;
- b) se o primeiro algarismo a ser descartado é maior do que 5, ou é 5 seguido de um algarismo diferente de zero em qualquer posição à direita, o último dígito retido é aumentado de uma unidade; por exemplo, quando são arredondados para três dígitos, 57,46 torna-se 57,5 e 39,650001 torna-se 39,7;
- c) quando o primeiro dígito a ser descartado é 5 e todos os dígitos à direita deste são zeros (supondo que o número é escrito com um número infinito de casas além do 5), o último dígito retido é comumente o próximo dígito par.

Com base nessa convenção, o número 35 em um conjunto de dados de uma variável contínua sugere que o instrumento de medida era graduado em unidades e que o verdadeiro valor medido poderia situar-se entre 34 e 36. Semelhantemente, o número 35,7 exprime uma medida entre 35,6 e 35,8; e o número 35,65, uma medida entre 35,64 e 35,66.

Um valor inexato é dito **arredondado** para o último algarismo (dígito) significativo. Um algarismo em um número é significativo se o erro do algarismo na próxima posição à direita não é superior a 5 nem inferior a -5. Todos os algarismos à esquerda do último algarismo significativo (ou seja, o algarismo significativo mais à direita) são algarismos significativos do número, exceto em números menores que 0,1 nos quais os zeros entre a primeira casa decimal e o primeiro algarismo diferente de zero não são significativos. Assim, o número de algarismos significativos de um dado número é o número de dígitos contados à esquerda a partir do último algarismo significativo até o último algarismo à esquerda diferente de zero, incluído este.

Sempre que possível, os dados devem ser escritos de modo que mostrem quantos dígitos são significativos. Assim, os números que seguem têm quatro algarismos significativos: 5.412, 541,2, 54,12, 0,541.2 e 0,005.412.

O número de dígitos significativos de um número inteiro cujos últimos algarismos são um ou mais zeros pode ser duvidoso. Por exemplo, 53.140.000 pode compreender 4, 5, 6, 7 ou 8 algarismos significativos. Nessas situações, pode ser conveniente indicar o último algarismo significativo por um ponto colocado acima. Assim, 53.140.000 indica quatro algarismos significativos, e 53.140.000 indica seis algarismos significativos. Uma convenção mais conveniente é escrever apenas o conjunto dos algarismos significativos do número multiplicado por uma potência de 10 apropriada; por exemplo, o número 53.140.000 pode ser escrito nas formas 5.314×10^4 e $53,14 \times 10^6$, para mostrar seus quatro algarismos significativos.

Em algumas situações, pode ser conveniente uma mudança da unidade de medida para lograr uma expressão sintética e que revele mais claramente os algarismos significativos. Assim, por exemplo, se o dado 4.200 gramas compreende dois algarismos significativos, pode ser mais conveniente exprimi-lo como 42 hectogramas, ou 4,2 quilogramas, com todos os algarismos significativos.

Outra questão importante refere-se ao número de dígitos significativos nos dados originais, ou seja, à precisão do processo de mensuração. De modo geral, dados com número muito pequeno de dígitos significativos podem exprimir a variável com precisão aquém da desejável, enquanto que dados com número muito elevado de dígitos significativos podem prover precisão exagerada, o que pode incorrer em perda de tempo, mau uso de recursos e dificuldades desnecessárias, tanto no registro como na edição e na análise dos dados. Algum meio termo apropriado deve ser estabelecido.

Os dados não devem ser registrados com dígitos em número maior do que aquele que exprime a precisão real do processo de mensuração, para não transmitirem impressão falsa da precisão. Muito freqüentemente, a precisão é limitada ao possível ou prático. Por exemplo, se a altura individual das plantas de uma área pode variar em 1 cm ou mais devido ao local particular da superfície do solo onde é apoiada a régua, ou devido a uma curvatura do caule, não há sentido em registrar a medida com precisão maior do que o centímetro mais próximo. Semelhantemente, se o peso de bovinos pode alterar-se 1 kg ou mais ao animal defecar ou urinar; o peso do animal precisa ser registrado apenas no quilograma mais próximo.

A precisão apropriada dos dados de variáveis respostas originais depende da grandeza das diferenças importantes. Por exemplo, em experimentos com bovinos usualmente não há interesse em diferenças de peso vivo em um período de 100 dias ou mais de grandeza de menos de 1 kg. Nessas circunstâncias, não há necessidade de pesar os animais com precisão maior do que o próximo quilograma.

A precisão apropriada dos dados também depende da variação dos valores da variável na população objetivo. De modo geral, se há uma noção aproximada do desvio padrão da população e o tamanho da amostra é grande, não vale a pena registrar dados com precisão superior a um décimo do desvio padrão. Assim, se o desvio padrão é aproximadamente 50, usualmente é suficiente registrar os dados ao 5 mais próximo. Uma regra equivalente é registrar os dados com uma precisão de 2% da amplitude dos valores da variável na população objetivo. Por exemplo, se a amplitude na população objetivo é 100, será usualmente satisfatório registrar os dados ao 2 mais próximo. Precisão maior do que a sugerida por essas regras pode ser usada por conveniência. Assim, se a balança ou régua é graduada em décimos, é mais fácil ler e registrar os dados ao décimo mais próximo do que aos dois décimos mais próximos.

Como regra geral, é comumente recomendável o uso de três dígitos significativos como suficiente para a maioria das pesquisas em biologia e agricultura, e em muitas outras áreas. Algumas vezes dois dígitos são suficientes; entretanto, em algumas pesquisas, pode ser aconselhável quatro ou mais dígitos significativos.

9.4.9 Preparação e edição dos dados

Os dados coletados devem passar por uma etapa de preparação em forma apropriada para o processamento das análises. Modernamente, com os recursos disponíveis de computação eletrônica, a forma final é usualmente um arquivo de dados em meio magnético. Essa etapa pode envolver diversos passos importantes que podem demandar esforço e recursos elevados, especialmente em experimentos de ampla abrangência e com grande número de variáveis. Uma breve caracterização desses passos é feita a seguir.

Registro dos dados

Os dados coletados através de mensurações são os dados básicos, usualmente denominados dados originais, puros ou crus. Esses dados são muito freqüentemente registrados em planilhas ou formulários apropriadamente formatados (**Figura 9.1**). Alguns desses dados são valores de variáveis respostas originais; outros são valores de variáveis estranhas úteis para a determinação dos dados de variáveis respostas derivadas e valores de co-variáveis para os propósitos listados nos primeiros parágrafos da **Seção 9.4.8**. Com a disponibilidade atual de recursos de computação, os dados das variáveis derivadas não precisam ser registrados nessas planilhas; podem ser ulteriormente calculados automaticamente, evitando o trabalho de cálculo manual e as possibilidades de erros de cálculos e de transcrição.

Após essa etapa inicial, deve ser procedida a verificação dos dados para a detecção e correção de problemas referentes à legibilidade, ausência de informações e presença de dados discrepantes, ou seja, dados fora dos intervalos em que são esperados. Usualmente, devem ser assinalados códigos para identificação das variáveis nas colunas da planilha. Devem ser definidos códigos apropriados para indicação de **valores perdidos**, ou seja, para a substituição de dados ausentes ou que não foram coletados em unidades de observação afetadas por alguma fonte de variação estranha perturbadora. Uma notação usual para valores perdidos é um ponto (".").

Em situações em que a coleta dos dados é automatizada, os dados das variáveis originais são registrados diretamente em meio magnético, onde ficam disponíveis.

Criação do arquivo ou base de dados

Se os dados não foram coletados automaticamente e registrados diretamente em meio magnético, eles estão disponíveis em planilha própria. Nesse caso, se há disponibilidade de recursos para tratamento automático dos dados, deve ser procedida a digitação para a criação do arquivo ou base de dados em meio magnético (ou seja, em disquete ou disco rígido). Alguns "pacotes" de análise estatística possuem recursos próprios para a criação de arquivos de dados. Alternativamente, o arquivo de dados pode ser criado através de um editor de textos ou de planilha, ou de um utilitário para banco de dados.

Após essa fase de criação do arquivo de dados, deve ser emitida uma listagem do arquivo para verificação da correção da transcrição dos dados, através de comparação visual com a fonte original dos dados. Qualquer incorreção deve ser corrigida no arquivo em meio magnético e novamente verificada através de uma listagem atualizada.

Crítica e edição da base de dados

Em situações de grande volume de dados, são freqüentes erros na planilha dos dados originais e no arquivo criado em meio magnético, mesmo após revisões visuais. Nessas circunstâncias, pode tornar-se importante a execução de uma verificação complementar com o recurso do próprio "pacote" que será utilizado para execução das análises estatísticas.

Uma crítica para a detecção de dados possivelmente incorretos pode ser efetuada através do cálculo de estatísticas descritivas, como mínimo, máximo e distribuição de freqüências, para cada variável. Essas informações podem permitir a detecção de dados discrepantes, ou seja, que se destacam dos demais. Alguma representação gráfica dos dados também pode ser útil para a identificação de problemas. Para bases de dados de estrutura complexa, podem ser recomendáveis verificações lógicas. Por exemplo, se as observações foram registradas ordenadamente ao longo do tempo, dados registrados em um instante de tempo não podem suceder dados registrados em instantes ulteriores; semelhantemente, se um animal morreu ou foi descartado em um instante do período

experimental, não pode haver dados registrados para esse animal nas avaliações que seguem.

A importância da crítica de dados deve ser enfatizada. Sua ausência freqüentemente implica perda de tempo decorrente de reprocessamento de análises estatísticas requerido pela identificação de problemas que se tornam evidentes na apreciação dos resultados de tais análises. Naturalmente, as conseqüências são mais sérias quando não são percebidos erros.

Nessa fase, são criados os dados das variáveis derivadas. Usualmente, esses dados podem ser gerados por facilidades propiciadas pelos próprios "pacotes" de análise estatística. Nesse caso, muito freqüentemente, esses dados não precisam ser criados e incluídos no arquivo em meio magnético, mas em conjuntos de dados temporários criados especificamente para uso no momento do processamento das análises estatísticas.

Usualmente, dados de experimentos de ampla abrangência espacial e temporal não são preparados e editados de uma única vez, ao fim do experimento. A preparação e edição de dados são procedidas progressivamente, na conclusão de cada uma das etapas do experimento, para que possam ser processadas análises com vistas à avaliação de resultados parciais. Nessas circunstâncias, a seqüência "coleta de dados - preparação de dados - edição de dados" repete-se em diversos ciclos. Se conveniente, podem ser criados arquivos de dados separados para essas etapas; nesse caso é recomendável que esses arquivos tenham estruturas compatíveis para que possam ser reunidos quando necessário para a execução de análises conjuntas.

O tempo necessário para essa etapa de edição da base de dados depende da quantidade e da qualidade dos dados originais e do nível de confiança da exatidão dos dados que é desejado. Deve ser enfatizado que, mesmo que sejam utilizados os métodos estatísticos apropriados para a análise dos dados, as conclusões derivadas serão no máximo tão boas quanto os dados nos quais elas se baseiam.

Exercícios 9.2

1. Explique porque as definições do número de repetições e do tamanho do experimento são estreitamente relacionadas.
2. Explique a razão da importância da definição do número de repetições no planejamento do experimento e porque o estabelecimento dessa definição é usualmente difícil.
3. Enumere as informações que o pesquisador deve ter disponíveis para a determinação do número apropriado de repetições para um experimento particular.
4. Suponha que um pesquisador está planejando um experimento para comparação de cultivares de batata com a consideração de cinco cultivares: 1-Monte Bonito, 2-Baronesa, 3-Santo Amor, 4-Trapeira e 5-Cristal. Em experimento anterior com objetivos e condições de material experimental similares, e delineamento em blocos, a estimativa da variância do erro experimental referente ao peso da produção de tubérculos, em t/ha, foi $s^2 = 1,495$ com 15 graus de liberdade. O pesquisador deseja que o experimento tenha habilidade para detectar diferenças reais desses tratamentos de 2 t/ha, qualquer que seja seu sinal, com probabilidade $1-\beta=0,80$ de detectar uma diferença real dessa grandeza e probabilidade $\alpha=0,05$ de detectá-la quando ela não existe. Determine o número de repetições requerido para esse propósito.
5. Determine a diferença mínima detectável para o experimento considerado no exercício 4, supondo que o pesquisador decide adotar 5 repetições.
6. Explique o que significa período pré-experimental e o ilustre com um exemplo.
7. Explique o significado de período experimental e caracterize seu início e fim através de um exemplo de experimento de sua área.
8. Dê um exemplo de experimento em que variáveis são mensuradas antes, durante e após o período experimental, e exemplifique uma variável de cada uma dessas três classes.

9. Liste os propósitos para os quais pode ser importante a mensuração de características estranhas da amostra.
10. Explique e ilustre os significados de unidade perdida e valor perdido.
11. Explique e ilustre o significado de dígitos significativos dos dados de uma variável.
12. Descreva a estrutura da planilha para a coleta dos dados de um experimento.
13. Em um experimento o pesquisador pode prever a presença na amostra das três seguintes fontes de variação dos valores da variável resposta: 1) variação sistemática planejada; 2) variação sistemática não planejada; e 3) variação aleatória ou irrelevante.
 - a) Identifique as origens de cada uma dessas três fontes de variação entre as seguintes: 1) características explanatórias; 2) características estranhas relevantes; e 3) características estranhas irrelevantes.
 - b) Classifique essas três fontes de variação nas seguintes classes quanto à posição do pesquisador referente a sua presença: 1) fonte de variação desejável; 2) fonte de variação com a qual ele deve conviver; e 3) fonte de variação indesejável.
 - c) Comente a respeito da atitude do pesquisador com referência a terceira fonte de variação listada no item b).
14. Porque dados de variáveis respostas derivadas não devem ser preenchidos na planilha para registro dos dados?

9.5 Controle Local

Ao contrário do controle de técnicas experimentais, o controle local (**Seção 5.6.2**) permite a redução do confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais sem interferência na constituição da amostra. Assim, o pesquisador pode construir uma amostra que represente a heterogeneidade presente na população objetivo e buscar, através do controle local, a precisão apropriada para as inferências relevantes. Dessa forma, o controle local permite conciliar os requisitos da validade externa e da precisão (**Seção 6.5**).

O controle local leva em conta classificações importantes das unidades de observação no espaço e no tempo. São particularmente importantes classificações que correspondem a níveis de características estranhas que possam ter efeitos relevantes sobre características respostas. O controle local também deve considerar as classificações referentes às formações de unidades experimentais.

Características estranhas importantes para controle local são aquelas cujos níveis classificam as unidades de observação em grupos consideravelmente dissimilares e cada um dos quais seja constituído por unidades relativamente similares. Podem ser classificações naturais em que o número de unidades em cada grupo é determinado pela natureza das unidades, ou classificações convenientes em que primeiro é escolhido o número de unidades de cada grupo e, então, as unidades são classificadas nos grupos. Os critérios usualmente mais importantes para essas classificações são: a) disposição das unidades no espaço e no tempo, como disposição das parcelas em um terreno ou em uma instalação, dos locais em uma região e de intervalos em um período do tempo, b) características intrínsecas das unidades, como características físicas, ambientais e genéticas, e c) técnicas experimentais, como técnicas de cultivo de plantas e de manejo de plantas.

O controle local também deve considerar classificações referentes à constituição de formações de unidades experimentais, já que essas classificações impõe restrições à casualização.

Na situação de controle local mais simples, as unidades experimentais são classificadas em grupos ou **blocos** de unidades segundo os níveis de uma característica estranha relevante. Essa prática da formação de blocos teve origem em experimentos agrícolas de campo, onde o terreno era dividido em grupos de parcelas contíguas e ao

conjunto das parcelas de cada um desses blocos eram assinalados todos os tratamentos. A razão para essa forma de classificação das parcelas é que nesses experimentos as características estranhas mais relevantes são propriedades do solo, que são usualmente mais similares para parcelas próximas do que para parcelas distantes. Entretanto, nesses experimentos essa propriedade pode variar com a topografia do terreno. Por exemplo, em terrenos com declive a variação da similaridade das características do solo com a distância é maior na direção do gradiente máximo, pois o solo de partes mais baixas é mais profundo, mais férteis, mais argiloso, mais úmido e contém mais matéria orgânica. Nessas circunstâncias logra-se mais homogeneidade das parcelas de cada bloco pela formação de blocos de parcelas em uma mesma faixa de nível.

Em experimentos com plantas perenes adultas as características estranhas relevantes correspondem ao vigor da planta, que exprime características da planta e também refletem as características importantes do solo. Nesse caso, se a unidade experimental é uma planta, pode ser obtido controle local eficaz pela classificação das plantas em blocos constituídos de plantas de mesmo nível de vigor, não importando sua posição no pomar.

Em experimentos com animais, os blocos podem ser formados por animais semelhantes quanto a características genéticas, idade ou peso, e por poteiros, boxes ou gaiolas uniformes, por exemplo. Em experimentos conduzidos em laboratório e em casa de vegetação, cada bloco pode ser constituído por um conjunto homogêneo de cobaias equipamentos, operadores ou posições próximas. Quando o experimento é conduzido em diversas etapas e há expectativa de que a variável resposta possa ser afetada por diferenças entre etapas, os blocos devem corresponder às etapas.

Ilustrações específicas de controle local com formação de blocos completos são apresentadas em seções anteriores (**Exemplo 5.21**, **Exemplo 6.5**, **Exemplo 6.11**).

Em algumas situações a heterogeneidade do material experimental atribuível a características estranhas pode ser de tal natureza que torne conveniente controle local mais acentuado do que o propiciado pela formação de blocos simples. Nessas circunstâncias deve ser considerada a classificação das unidades experimentais segundo os níveis de duas ou mais características estranhas relevantes. Isso pode ocorrer em experimentos em que as unidades se dispõem espacialmente ou temporalmente e o material experimental compreende dois gradientes de heterogeneidade de características estranhas ou um gradiente muito acentuado. Por exemplo: a) em um experimento em um experimento agrícola de campo em terreno com declive pode haver uma cortina de árvores perpendicular à direção da declividade máxima; b) restrições do material experimental podem requerer que o experimento seja conduzido em etapas em cada uma das quais a heterogeneidade demande a formação de blocos. Nessas circunstâncias o material experimental compreende heterogeneidade acentuada das características estranhas em duas direções perpendiculares o que implica a necessidade de duas formações de blocos.

O controle local é complementado pela atribuição ou manifestação dos níveis dos fatores experimentais nas unidades de modo que efeitos relevantes de fatores experimentais não fiquem confundidos com efeitos das características estranhas controladas. Assim, o controle local é estreitamente relacionado e dependente da estrutura das condições experimentais e da casualização e deve ser considerado no contexto da geração da estrutura do experimento. Por essa razão, as considerações referentes ao controle local serão complementadas no **Capítulo 10**, que trata da geração e constituição da estrutura do experimento.

O controle local eficaz abrange a gama mais ampla possível das características estranhas relevantes da amostra com o menor número de classificações. Em muitas situações uma mesma classificação das unidades de observação para propósito de

controle local pode abranger diversas características estranhas relevantes. O **Exemplo 9.17** provê uma ilustração do uso eficaz do controle local para o controle de características estranhas relevantes do material experimental inicial.

Exemplo 9.17

Considere-se um experimento de nutrição de suínos que deve ser conduzido com animais heterogêneos quanto à idade em boxes individuais de uma instalação também heterogênea quanto a características ambientais. Nessas circunstâncias, os animais são classificados em um número apropriado de grupos de animais de idades próximas e as instalações são divididas no mesmo número de grupos de boxes com cada um destes grupos constituído por boxes de características ambientais semelhantes. Então, os grupos de animais são alocados aos grupos de boxes. Dessa forma, as características estranhas relevantes dos animais e das instalações são conjuntamente controladas por uma única classificação das unidades de observação.

O controle local é muitas vezes compreendido como a classificação das unidades na forma em que estão presentes no material experimental inicial, quando muito freqüentemente os tratamentos são atribuídos às unidades. Em geral, entretanto, o controle local também pode e deve ser utilizado com proveito durante a condução do experimento. Em muitas situações, um mesmo critério de controle local pode ser utilizado com proveito para o controle de um conjunto amplo de características estranhas relevantes presentes no material experimental inicial ou que possam se manifestar ao longo do período experimental. Isso pode ser efetivado pela definição e execução de controle local comum em etapas da condução do experimento em que possa ser conveniente. Assim, a eficiência do controle local depende da habilidade do pesquisador na sua definição e execução.

Exemplo 9.18

Suponha-se que em um experimento de comparação de cultivares de feijão as unidades experimentais elementares são classificadas em blocos para controle local das características estranhas do material experimental inicial que é levado em conta na atribuição das cultivares às unidades experimentais. Essa mesma classificação das unidades pode ser explorada para o controle de fontes de variação estranhas relevantes que possam decorrer de práticas de cultivo, tais como plantio, aplicação de fungicidas, inseticidas e herbicidas, e colheita. Por exemplo, se o plantio deve abranger vários dias, pode ser conveniente que ele seja completado bloco por bloco, para que as diferenças mais relevantes que possam resultar fiquem entre os blocos e não dentro de blocos.

Alguns experimentos devem ser conduzidos em mais de uma etapa em decorrência de seus objetivos ou de restrições de material experimental que impedem a aplicação simultânea de todos os tratamentos. Esse é o caso de experimentos que requerem instalações ou equipamentos, tais como estufas, que sejam insuficientes para constituir o número adequado de unidades experimentais. Nessas circunstâncias, pode ser requerido o controle local das características estranhas que se alteram com o tempo. Nesse caso, as etapas constituem os grupos de uma classificação das unidades de observação considerado para controle local (**Exemplo 9.19**)

Exemplo 9.19

Considere-se um experimento para pesquisa do efeito da temperatura de cozimento de carne de lombo de leitão sobre a qualidade do produto, em que são aplicadas na amostra quatro temperaturas do intervalo de temperaturas sob consideração na população objetivo. É utilizado um conjunto de 32 peças de lombo de modo que cada uma das 4 temperaturas deve ser assinalada a 8 peças. Se a variação de tamanho ou espessura das 32 peças de lombo é relevante, pode ser conveniente o controle local dessas características estranhas pela classificação dessas 32 porções em 8 grupos cada um dos quais constituído de 4 peças mais homogêneas do que o conjunto das 32 peças, e, então, a assinalação das 4 temperaturas às 4 peças de cada um desses 8 grupos. Pode ocorrer que operações conduzidas no curso do experimento também sejam fontes

de variação estranha considerável. Assim, por exemplo, se são disponíveis apenas 4 fornos para assar as 32 peças de lombo, esses fornos terão que ser utilizados sucessivamente, em 8 etapas. Nessas circunstâncias, poderá ser conveniente o controle local da variação entre as 32 fornadas pela classificação dessas fornadas segundo as 8 etapas.

Dessa forma, ter-se-ia um controle local duplo: um para o controle da variação estranha relevante entre as 32 peças de lombo e outro para o controle da variação estranha relevante entre as 32 fornadas. Entretanto, esse controle local duplo pode ser reduzido a controle local simples, pela assinalação dos 8 grupos de peças de lombo às 8 etapas de cozimento de modo que cada grupo de peças resulte associado a uma etapa. Esse procedimento mais eficaz de controle local deve ser utilizado, sempre que apropriado.

Em alguns experimentos de mais de uma etapa, pode ser conveniente que o controle local seja exercido parcialmente, em mais de uma etapa do experimento, e completado ao longo de sua execução. Essa circunstância nem sempre é fácil de ser compreendida.

Exemplo 9.20

Considere-se um experimento sobre o efeito da nutrição da porca matriz e da nutrição do leitão sobre a idade de abate e características da carcaça do leitão, com dois fatores experimentais: dieta da porca e dieta do leitão. Esse experimento compreende duas etapas: uma primeira etapa de nutrição da porca, em instalações de criação, e a outra de nutrição do leitão, em instalações de crescimento e preparação para o abate. Na primeira etapa, o controle local pode ser exercido pela classificação das porcas segundo a idade e o peso corporal; as dietas da porca são atribuídas aleatoriamente às porcas de cada um dos grupos dessa classificação. Nessa etapa os leitões nascidos permanecem juntos com as respectivas porcas matrizes, até o desmame. Ao desmame, os leitões são transferidos para outras instalações, onde passam a receber a dieta para crescimento e terminação para o abate. Nessa segunda etapa, pode ser efetuado o controle local de características dos leitões, através da classificação destes segundo as leitegadas; as dietas de crescimento e terminação para o abate são atribuídas aleatoriamente aos leitões de cada leitegada.

Nessas circunstâncias, esse experimento compreende controle local duplo exercido, de modo complementar nas duas fases de sua execução.

Através do controle local, é evitado o confundimento de efeitos de condições experimentais com efeitos das características estranhas controladas. Dessa forma, a variação correspondente a esse confundimento é eliminada das estimativas de efeitos de condições experimentais e é separada do erro experimental que afeta inferências referentes a esses efeitos. Se a variação estranha controlada é considerável, resulta um aumento substancial da precisão dessas inferências.

Entretanto, o controle local não elimina totalmente a variação devida às características estranhas controladas. O controle local separa dos efeitos de fatores experimentais e do erro experimental que afeta inferências referentes a esses efeitos a variação atribuível às características estranhas controladas que fica entre os grupos de unidades. Todavia, ele não tem efeito sobre a variação estranha entre as unidades dentro dos grupos.

O controle local implica perda de unidades de informação referentes ao erro experimental. Esse fato tem implicações para a grandeza relativa do erro experimental que é expressa pela **variância do erro experimental**, que é a razão entre a variação devida ao erro experimental e o correspondente número de unidades de informação independentes. Assim, para que o controle local seja eficaz, ou seja, implique na redução da variância do erro experimental, a diminuição da variação devida ao erro experimental deve superar a conseqüente perda de unidades de informação. Por essa razão, o controle local somente pode e deve ser utilizado para características estranhas que se espera venham a constituir fontes de variação relevantes.

Freqüentemente, há classificações das unidades de observação que não são originadas de controle local como usualmente considerado na literatura, mas correspondem a características estranhas cujos efeitos sobre características respostas são relevantes. São classificações das unidades de observação segundo sua disposição no espaço e no tempo, classificações que se originam de formações de unidades experimentais e classificações que correspondem a fatores experimentais intrínsecos. Essas classificações relevantes devem ser consideradas para propósito de controle local, ou seja, devem ser levadas em conta na atribuição dos tratamentos às unidades, na formulação da estrutura do experimento, na especificação do modelo estatístico e nos procedimentos de inferência.

Assim, em experimentos de abrangência ampla, em geral, as características estranhas mais relevantes relacionam-se com a disposição das unidades no espaço e no tempo. Por essa razão, a classificação das unidades de observação nessas duas dimensões deve ser levada em conta no planejamento do controle local. Semelhantemente, fatores experimentais intrínsecos são associados a características estranhas relevantes que correspondem a classificações naturais das unidades de observação. Essas classificações também devem ser levadas em conta pelo controle local. Esse é o caso, por exemplo, quando procedência, turno, raça, sexo, local e ano são fatores experimentais. É importante que nessas circunstâncias sejam claramente distinguidos o conjunto das características que constituem o fator experimental e o agregado das características estranhas controlado por controle local. Essas duas fontes de variação devem ser levadas em conta separadamente na formulação da estrutura do experimento e na especificação do modelo estatístico. Esse tema é considerado no **Capítulo 10**.

A escolha de características estranhas para controle local e de seus correspondentes níveis depende da expectativa referente à composição da classe das características estranhas do material experimental. Portanto, requer conhecimento e experiência do pesquisador. Em geral, características estranhas próprias para controle local satisfazem propriedades análogas àquelas listadas para fator experimental (**Seção 5.2**); seus níveis devem:

- 1) ser escolhidos e definidos no plano do experimento para cada unidade de observação;
- 2) compreenderem um pequeno conjunto que se repita nessas unidades;
- 3) classificarem as unidades em grupos que constituam uma partição do material experimental com a propriedade de que cada unidade pertença a um grupo e nenhuma unidade pertença a mais de um grupo; e
- 4) relacionar-se com os níveis das demais características estranhas controladas por controle local e com os níveis dos fatores experimentais constituindo uma estrutura significativa que determina a estrutura do experimento ou delineamento experimental.

Características estranhas controladas por controle local são denominadas **fatores de unidade (Seção 5.6.2)**. Muito freqüentemente, um fator de unidade é expresso por variável de escala nominal e seus níveis na amostra supostamente constituem um subconjunto representativo da correspondente coleção numerosa dos níveis da população objetivo. Nessas circunstâncias um fator de unidade é um fator aleatório; por exemplo, local, ano e procedência. Em situações pouco comuns, um fator de unidade pode ser um fator qualitativo específico ou qualitativo ordenado, portanto, um fator fixo. Observe-se que, de fato, usualmente a escolha dos níveis de um fator aleatório para a amostra não é efetuada por processo aleatório, porque a população objetivo é uma população conceitual ou porque as unidades dessa população não são todas acessíveis (**Seção 8.4**). Isso significa que a escolha depende de conhecimento e de experiência do

pesquisador que deve usar julgamento criterioso para obter uma amostra que represente apropriadamente a população objetivo.

As classificações das unidades de observação determinadas ou levadas em conta pelo controle local constituem os fatores de unidade. As relações entre os níveis dos fatores de unidade estabelecem uma estruturação relevante dessas unidades elementares da amostra.

As relações entre os níveis dos fatores de unidade constituem a **estrutura dos fatores de unidade** ou **estrutura das unidades**.

O controle local é efetivado pela consideração da estrutura das unidades na atribuição dos tratamentos a essas unidades pelo procedimento de casualização. A associação entre a estrutura das unidades e a estrutura das condições experimentais estabelecida pela casualização determina a estrutura do experimento ou delineamento experimental, que constitui o tema do **Capítulo 10**. Na **Seção 10.3** são descritas diversas estruturas de unidade que podem resultar do controle local.

9.6 Controle Estatístico

Assim como o controle local, o controle estatístico não interfere na constituição da amostra e tem o propósito de evitar que a variação devida às características estranhas controladas afete os efeitos dos fatores experimentais e separá-la do erro experimental que afeta esses efeitos.

O controle estatístico consiste no registro dos valores observados das variáveis estranhas controladas (co-variáveis) e se completa com o uso de procedimentos de análise estatística que efetuem o ajustamento apropriado dos valores observados da variável resposta para eliminação da variação atribuível à co-variável. O procedimento estatístico para essas inferências é a análise da co-variação. A análise da co-variação requer a pressuposição de uma expressão para a relação entre a variável resposta e a co-variável. Muito freqüentemente é pressuposta uma relação linear. Entretanto, outras formas de relação podem ser consideradas, tal como relação polinomial quadrática. A validade das inferências derivadas depende da adequabilidade da relação postulada.

Nessas circunstâncias, o controle estatístico demanda a mensuração da característica estranha controlada e sua expressão através de uma variável de escala intervalar ou racional, preferivelmente contínua. Em geral, uma característica estranha apropriada para controle estatístico tem propriedades semelhantes àquelas indicadas para co-variável explanatória (**Seção 5.8**), ou seja:

- 1) seus níveis são inerentes às unidades e não podem ser escolhidos e definidos no plano do experimento;
- 2) podem ser distintos para todas as unidades da amostra;
- 3) não constituem uma partição significativa dessas unidades.

O controle estatístico também controla os efeitos sobre a variável resposta de outras características relacionadas com a co-variável. Por essa razão, sua aplicação deve pressupor que a co-variável não é afetada pelas condições experimentais, pois, caso contrário, o controle estatístico também estará efetuando o ajustamento dos valores da variável resposta para eliminação de efeitos atribuíveis a essas condições, particularmente de efeitos atribuíveis a tratamentos. Essa pressuposição é satisfeita em uma das três seguintes situações:

- a) a co-variável é mensurada antes da aplicação dos tratamentos às unidades experimentais; ou

- b) a co-variável é mensurada após a aplicação dos tratamentos, mas antes da manifestação dos efeitos dos tratamentos; ou
- c) pode ser assegurado, com base na natureza da co-variável, que ela não é afetada por diferenças de tratamentos.

A primeira circunstância assegura que a co-variável não é afetada por diferenças de efeitos de tratamentos. Esse é o caso do **Exemplo 5.22 a)**, em que o peso corporal inicial do animal é mensurado antes da aplicação dos tratamentos. Quando o momento da mensuração da co-variável é ulterior à aplicação dos tratamentos, o uso do controle estatístico deve ser efetuado com cautela. Essa situação é ilustrada pelo **Exemplo 5.22 b)**, onde o estande é mensurado ao final do experimento; portanto, pode ser influenciado pelos tratamentos. A adequabilidade do controle estatístico nessas circunstâncias pode ser justificada com base em experimentos anteriores ou através dos próprios dados do experimento, pelo emprego de procedimento de análise estatística apropriado.

O controle estatístico, assim como o controle local, não interfere na constituição da amostra. Portanto, o controle estatístico também não tem implicações para a representatividade da amostra.

Assim, o controle estatístico é um procedimento de controle experimental alternativo ou complementar ao controle local. O controle estatístico também pode ser simples ou múltiplo, ou seja, pode propiciar o ajustamento da variável resposta para uma ou mais características estranhas. Entretanto, ele se distingue do controle local quanto à forma do controle efetuado. O controle estatístico controla a variação dos valores observados da variável resposta atribuível à característica estranha controlada segundo a forma de relação postulada entre a variável resposta e a co-variável. Se apropriado, o controle estatístico permite a redução da variação da resposta que é atribuível à co-variável e a fontes de variação que são relacionadas com a co-variável. Por outro lado, o controle local controla toda variação estranha entre os grupos de unidades correspondentes a classificação das unidades que ele estabelece ou leva em conta.

Dessa forma, o controle estatístico é apropriado para o controle de uma característica estranha individual quando pode ser suposta a existência de uma relação simples entre a variável resposta e a co-variável que exprima essa característica estranha, enquanto que o controle local é mais freqüentemente apropriado para o controle de agregados de características estranhas.

Em geral, o julgamento da conveniência relativa dessas duas formas de controle experimental não é simples. Se uma parte considerável da variação dos valores observados da variável resposta provém de uma característica estranha específica, o controle estatístico pode ser adequado. Todavia, se essa variação é muito substancial, pode ser mais conveniente o controle local, ou o uso complementar desses dois procedimentos de controle experimental. Por exemplo, em um experimento com animais com variação muito considerável de peso corporal inicial decorrente de diferenças de idade, pode ser recomendável a adoção do controle local para o controle das diferenças mais relevantes associadas à idade. Se a variação de peso dentro dos grupos formados pelo controle local permanecer acentuada, pode ser conveniente o controle dessa variação remanescente através do controle estatístico.

O controle local e o controle estatístico também se distinguem quanto às conseqüências. O controle estatístico origina perda de menor número de unidades de informação sobre o erro experimental do que o controle local. Por exemplo, o controle estatístico simples implica a redução de apenas uma unidade de informação do erro experimental, enquanto que o controle local simples resulta na perda de $g-1$ unidades de informação, onde g é o número de grupos formados pela classificação das unidades considerada para controle local. A perda de unidades de informação implica prejuízo para a precisão da estimativa do erro experimental e, portanto, para a precisão das inferências

derivadas do experimento. A compreensão mais clara dessas implicações requer o conhecimento dos procedimentos de inferência estatística.

A adequabilidade do controle estatístico deve ser determinada para cada situação particular. Podem ser efetuados estudos para esse propósito através da exploração de dados de experimentos já conduzidos ou através de experimentos específicos. Assim, por exemplo, experimentos com soja permitiram estabelecer que variações de estande são compensadas, de modo que, em geral, a produção de grãos não é afetada pelo estande nas situações práticas usuais.

Observe-se que o controle estatístico, assim como o controle local, não controla totalmente a variação atribuível às características estranhas que são controladas. O controle estatístico elimina dos efeitos de condições experimentais e separa da estimativa do erro experimental para inferências referentes a esses efeitos apenas a variação da variável resposta atribuível à co-variável que é levada em conta pela relação postulada entre a variável resposta e a co-variável.

Observe-se, também, que o controle local tem implicações sobre a estrutura do experimento (veja **Seção 10.4**), o que significa que usualmente esse procedimento de controle experimental afeta todas as características respostas, enquanto que o controle estatístico tem sentido e aplica-se apenas a um subconjunto de uma ou poucas das variáveis respostas. Por exemplo, a) em um experimento de nutrição animal, o controle estatístico do peso inicial dos animais pode ser aplicável para a variável resposta peso ao abate, mas pode não se aplicar para variáveis respostas que expressem características da carcaça; b) em um experimento de comparação de cultivares de sorgo, o controle estatístico do estande final pode ser útil para a variável resposta peso da produção de grãos, mas não para variáveis respostas referentes a características do grão, tais como peso hectolitro e peso de 1000 grãos.

O procedimento de descarte das observações de unidades experimentais afetadas por alguma fonte de variação estranha relevante pode ser considerado como uma forma particular de controle estatístico. Esse procedimento de desconsideração de unidades experimentais visa evitar o viés resultante da presença de características estranhas perturbadoras. Observe-se que esse procedimento somente é aplicável sob as seguintes circunstâncias: a) as unidades afetadas pela fonte de variação estranha perturbadora podem ser identificadas; b) o número dessas unidades é relativamente pequeno; e c) as respostas observadas nessas unidades não são afetadas por efeitos atribuíveis a condições experimentais.

9.7 Casualização

O controle local e o controle estatístico permitem a eliminação da variação devida a características estranhas relevantes das estimativas dos efeitos de fatores experimentais e da variância do erro experimental que afeta esses efeitos. Entretanto, esses dois procedimentos de controle experimental não são completamente efetivos. De fato, eles permitem o controle de uma fração relevante das características estranhas, mas as demais características estranhas, supostamente individualmente menos relevantes, permanecem não controladas. Essas características são fontes potenciais de confundimento tendencioso de efeitos de características estranhas com efeitos de fatores experimentais, que origina viés intrínseco. A casualização das características estranhas remanescentes evita esse viés e torna a constituição do erro experimental que afeta os efeitos dos fatores experimentais aleatória.

A casualização é uma forma de controle experimental complementar. Ela não logra a redução quantitativa desse confundimento. Seu propósito é evitar a tendenciosidade que esse confundimento possa implicar.

A casualização é um procedimento de controle experimental que pode ser adotado na associação dos tratamentos às unidades e na implementação de técnicas experimentais (**Seção 5.6.4**):

A casualização dos tratamentos estabelece uma relação entre os tratamentos e as unidades experimentais com a propriedade de que todas as unidades tenham a mesma chance de associar-se com qualquer dos tratamentos. A casualização da implementação de uma técnica experimental compreende o estabelecimento de uma ordem aleatória de execução dessa técnica experimental nas unidades experimentais com a propriedade de que todas as unidades tenham igual chance de ser favorecida ou desfavorecida.

Tratar-se-á aqui da utilização da casualização, do procedimento para sua implementação e de alguns problemas que poderão ocorrer em situações práticas.

A casualização cumpre dois propósitos básicos:

- a) evitar confundimento tendencioso de efeitos de condições experimentais sobre características respostas com efeitos de características estranhas; e
- b) propiciar estimativas não tendenciosas do erro experimental apropriado para inferências referentes a efeitos de condições experimentais.

A utilização apropriada da casualização varia com o experimento e, principalmente, com as circunstâncias do material experimental. Em princípio, a casualização deve ser tão ampla quanto possível. Idealmente, ela deveria abranger todas as características estranhas da amostra não controladas por controle local e por controle estatístico. Na prática, entretanto, a consecução desse ideal é apenas aproximada já que, em geral, a manifestação de muitas características estranhas, particularmente de características relacionadas ao ambiente, está fora do controle do pesquisador. Por outro lado, a casualização pode ser dispensável para o controle de características estranhas que sabidamente se manifestarão de modo irrelevante.

A casualização é o procedimento de controle experimental para assegurar que características estranhas, conhecidas ou desconhecidas, identificáveis ou não identificáveis, não afetem características respostas de modo sistemático, ou seja, tendenciosamente. Em particular, é o único recurso para o controle de fontes de variação estranhas desconhecidas. A casualização é como um seguro contra perturbações que possam decorrer da manifestação de características estranhas na amostra. Ela é uma precaução contra perturbações que podem ou não ocorrer e que podem ou não ser sérias se ocorrerem. O trabalho de casualização é recomendável sempre que haja alguma suspeita de que uma ação possa implicar alguma tendência, caso a casualização não seja efetuada. Naturalmente, como usualmente há um grande número de operações físicas envolvidas em um experimento, a aplicação da casualização na implementação de cada uma dessas operações demandaria muito tempo e seria demasiadamente trabalhosa. Assim, o pesquisador deve utilizar seu julgamento para omitir a casualização em situações em que o conhecimento existente assegure que a ausência de casualização não implicará tendenciosidade.

A importância da casualização na atribuição dos tratamentos às unidades é freqüentemente reconhecida. É menos compreendida sua importância em ações e intervenções importantes durante a condução do experimento que possam implicar alguma fonte de variação estranha sistemática, ou seja, alguma forma de variação estranha que não possa ser considerada aleatória. Em alguns experimentos a casualização pode ser útil para evitar tendenciosidade que possa resultar da intervenção de pessoas envolvidas. Em outros, ela pode ser conveniente para lograr o balanceamento dos efeitos de variações referentes ao ambiente. Esses propósitos da casualização são discutidos a seguir.

9.7.1 Casualização na assinalação dos tratamentos

A forma genérica de arranjo dos tratamentos nas unidades da amostra é determinada pelo controle local. Por exemplo, com o controle local mais simples, ou seja, com uma única classificação das unidades de observação em grupos constituídos por tantas unidades quanto são os tratamentos, a disposição dos tratamentos nessas unidades deve contemplar uma coleção completa dos tratamentos em cada grupo ou bloco de unidades. Entretanto, a disposição dos tratamentos dentro de cada bloco não fica estabelecida. O próximo passo é a assinalação dos tratamentos às unidades de observação, que nesse caso são as unidades experimentais.

Os tratamentos devem ser arranjados nas correspondentes unidades experimentais por procedimento que lhes assegure condições tão semelhantes quanto possível no que se refere à presença de características estranhas nessas unidades, de modo que seja garantido que nenhum tratamento será beneficiado ou prejudicado. O procedimento de assinalação dos tratamentos deve ser justo nesse sentido. Isso significa que todos os tratamentos devem ter igual chance de serem associados com qualquer unidade particular. A casualização, isto é, a assinalação aleatória dos tratamentos, é o único procedimento que garante essa propriedade. Qualquer outro procedimento pode conduzir à injustiça ou discriminação para alguns tratamentos. Além disso, qualquer mecanismo ou processo de assinalação de tratamentos que possa tender a arranjá-los nas unidades de modo mais ou menos semelhante do que o que seria logrado por alocação aleatória conduz a estimativas da variação aleatória menor ou maior do que a apropriada, que pode ser obtida apenas pela assinalação aleatória.

O propósito da assinalação aleatória dos tratamentos é, de fato, a casualização de características estranhas da amostra, para evitar o confundimento tendencioso de seus efeitos sobre as características respostas com os efeitos de fatores experimentais. Isso é logrado pelo estabelecimento de uma relação aleatória entre os níveis de características estranhas e as condições experimentais.

O procedimento de casualização para um experimento específico depende da estrutura das unidades estabelecida pelo controle local (**Seção 9.5**). Entretanto, o princípio básico e geral da casualização, independente da estrutura de classificações, é a atribuição dos tratamentos às unidades experimentais de modo que todos os tratamentos tenham a mesma probabilidade de assinalação a cada unidade. A atribuição aleatória pode ser lograda ou pela alocação das unidades aos tratamentos ou pela alocação dos tratamentos às unidades.

Na ausência de controle local, os tratamentos são assinalados aleatoriamente às unidades experimentais sem qualquer restrição. No caso de controle local, a casualização deve ser procedida de modo a garantir o arranjo dos tratamentos determinado por esse procedimento de controle experimental. Por exemplo, com o controle local mais simples, ou seja, com a classificação das unidades experimentais elementares segundo os níveis de uma única característica estranha ou um único agregado de características estranhas, a disposição dos tratamentos nessas unidades deve contemplar uma coleção completa dos tratamentos em cada grupo ou bloco. Nesse caso, o controle local requer que os tratamentos sejam assinalados às unidades bloco por bloco. Portanto, a casualização deve ser procedida bloco por bloco, separada e independentemente para cada bloco. O **Exemplo 5.24** e o **Exemplo 9.21** provêm ilustrações de casualização na presença de controle local simples.

Exemplo 9.21

Considere-se o experimento do efeito da temperatura de cozimento de carne de leitão sobre a qualidade do alimento (**Exemplo 9.19**), com o controle local simples simultâneo das características relevantes das 32 peças de lombo e das 32 fornadas. Nessas circunstâncias, os 8

grupos de 4 peças de lombo homogêneas são associados aos 8 grupos de 4 fornadas homogêneas, de modo que cada um dos 8 grupos resultantes constitui-se de 4 unidades homogêneas quanto a características das peças de lombo e das fornadas. Então, as 4 temperaturas devem ser atribuídas aleatoriamente às 4 unidades de cada um desses 8 grupos, grupo por grupo, separada e independentemente.

Outras ilustrações de casualização são apresentadas nos exemplos da **Seção 5.9**.

Para outras formas de controle local, as restrições que devem ser levadas em conta na casualização dos tratamentos variam segundo a estrutura das unidades. Por exemplo, em experimentos de ampla abrangência espacial e temporal, a casualização deve ser procedida separada e independentemente para cada posição no espaço e no tempo, e, para cada uma dessas posições, segundo a estrutura das unidades presente na correspondente posição. Os procedimentos de casualização específicos para algumas estruturas de unidade particulares são considerados no **Capítulo 10**.

A casualização deve ser procedida por algum processo físico objetivo de sorteio. A operação básica para a casualização é a geração de uma ou mais ordenações ou permutações aleatórias de um conjunto de objetos numerados. Um procedimento para esse propósito é, por exemplo, a extração isenta de quadradinhos de papel numerados ou de pedras de víspora, dispostos em algum recipiente. Esses processos são freqüentemente criticados por, na prática, não imitarem apropriadamente o acaso, ou porque o pesquisador possa influir no resultado. Procedimentos usualmente mais recomendados são: uso de tabelas de dígitos aleatórios ou tabela de números aleatórios, como a **Tabela 1** do **Apêndice**, ou uso de recursos de programas e pacotes de computação estatística.

Para a geração de uma permutação aleatória do conjunto dos n primeiros números inteiros positivos com o uso da **Tabela 1**, devem-se estabelecer, preliminarmente, as seguintes convenções:

- a) número de dígitos dos números a sortear;
- b) ponto de partida na Tabela; e
- c) direção e sentido do percurso para identificação dos números sorteados.

Para obter uma permutação aleatória de um conjunto de 9 números ou menos ($n \leq 9$) é suficiente o sorteio de números de dois dígitos; para o sorteio de um conjunto de 10 a 99 números ($10 \leq n \leq 99$) é suficiente sortear números de três dígitos. (Esse procedimento de considerar um dígito a mais do que o necessário é conveniente para diminuir as possibilidades de repetições de números e de tendenciosidade.) O ponto de partida na tabela pode ser localizado apontando um lápis, sem olhar, ou, mais objetivamente, de modo indireto, através da identificação de uma linha e de uma coluna da Tabela por esse processo de apontar com um lápis. Então, para o sorteio de um conjunto de n números da Tabela, lêem-se os n números consecutivos com o número estabelecido de dígitos, a partir do ponto localizado e na direção e sentido definidos. Números repetidos são desconsiderados, passando-se adiante.

Para ilustração do uso da **Tabela 1**, considere-se a casualização de 4 tratamentos a 12 unidades experimentais, com a assinalação de cada tratamento a 3 unidades, para a situação de ausência de controle local, ou seja, de uma estrutura das unidades sem qualquer forma de classificação. A casualização para essas circunstâncias consiste em atribuir cada um dos 4 tratamentos a 3 das 12 unidades de modo completamente aleatório, ou seja, sem qualquer restrição.

Para tal, inicialmente numeram-se arbitrariamente as 12 unidades, representadas em um croqui ou em uma lista; ou seja, assinalam-se os números de 1 a 12 às 12 unidades, de modo conveniente (consecutivamente, por exemplo). Então, a casualização pode ser procedida através da geração de uma permutação aleatória desses 12 números e a convenção de assinalar o tratamento 1 às 3 unidades identificadas pelos 3 primeiros

números dessa permutação, o tratamento 2 às 3 unidades identificadas pelos 3 seguintes números da permutação, o tratamento 3 às 3 unidades identificadas pelos 3 seguintes números da permutação, e, finalmente, o tratamento 4 às 3 unidades identificadas pelos 3 últimos números da permutação, ou seja, às 3 unidades restantes.

Essa casualização pode ser efetuada a partir do sorteio de 12 números de 3 dígitos da **Tabela 1**. Convencione-se adotar o percurso vertical de cima para baixo a partir do ponto inicial indicado com um lápis e suponha-se que o ponto localizado seja a interseção da linha encabeçada pelo número 10 com a coluna encabeçada pelo número 25. Então, lêem-se e registram-se os seguintes números da tabela, na ordem em que aparecem:

860	162	796	442	635	448	699	340	733	580	757	186
12	1	11	4	7	5	8	3	9	6	10	2

A permutação aleatória gerada é a numeração das ordens dos números sorteados; assim, o menor número, ou seja, o número 162 recebe o número de ordem 1; 186, o segundo, recebe o número de ordem 2; e assim sucessivamente; o número mais elevado, 860, recebe a numeração de ordem 12. Assim, a permutação aleatória gerada é: 12-1-11-4-7-5-8-3-9-6-10-2. Então, o primeiro tratamento é assinalado às unidades identificadas pelos números 12, 1 e 11; o tratamento 2, às unidades 4, 7 e 5; o tratamento 3, às unidades 8, 3 e 9; finalmente, o último tratamento, o tratamento 4, é assinalado às unidades restantes: 6, 10 e 2.

Em outras situações esse procedimento é utilizado com as variações apropriadas. Por exemplo, a) quando os tratamentos devem ser atribuídos a números diferentes de unidades; b) quando as unidades são classificadas em blocos e a coleção completa dos tratamentos deve ser assinalada a cada bloco com número de unidades de cada bloco igual ao número de tratamentos; e c) quando subconjuntos dos tratamentos devem ser assinalados às unidades de diversos blocos. Nas situações de assinalação de tratamentos a unidades estruturadas em blocos, o processo tem que ser efetuado para cada bloco, separada e independentemente.

Atualmente, são disponíveis procedimentos automáticos providos por programas específicos e “pacotes” de análise estatística que podem ser mais convenientes. Esses recursos permitem a geração da casualização para algumas estruturas simples de condições experimentais e de unidades, no formato da planilha própria para o registro das observações das variáveis respostas. Em geral, o pesquisador precisa prover informações sobre os fatores experimentais e os correspondentes números de níveis, e sobre a forma do controle local.

Podem originar-se questionamentos na aplicação da casualização quando resulta alguma configuração aparentemente inconveniente do arranjo dos tratamentos, particularmente em pequenos experimentos. Esse é o caso quando o resultado da casualização revela aparência sistemática da disposição dos tratamentos nas unidades ou se ajusta a algum padrão do material experimental fisicamente significativo, mesmo que esse padrão seja provavelmente sem importância. Assim, por exemplo, em uma estrutura de unidades sem controle local as diversas unidades com um mesmo tratamento podem resultar em posições contíguas; em uma estrutura com controle local simples pode originar-se o mesmo arranjo dos tratamentos em todos os blocos.

Tais configurações são, em geral, indesejáveis. Mesmo que se pense que provavelmente não haja um efeito de ordem, ou um efeito de posição, há várias circunstâncias, relacionadas com técnicas experimentais, por exemplo, que podem produzir tais efeitos.

As chances da ocorrência dessas configurações particulares são muito pequenas, exceto em experimentos com poucas unidades. Entretanto, elas podem ocorrer. Há três procedimentos alternativos para contornar essas dificuldades, todos eles implicando em

restrição à casualização. O primeiro procedimento é alterar a forma de controle local, incorporando uma condição que evite arranjos inconvenientes. Essa pode ser a solução apropriada em algumas situações. Entretanto, não é uma solução geral para o problema, porque a introdução de restrições adicionais à casualização pode ser impraticável ou indesejável. Particularmente, restrições adicionais à casualização implicam perda de unidades de informação referentes ao erro experimental que pode não ser compensada pela eliminação de uma fonte de variação estranha provavelmente irrelevante; ademais, podem tornar a estrutura de classificação das unidades demasiadamente complexa.

O segundo procedimento é rejeitar configurações inconvenientes, sempre que elas ocorram; ou seja, efetuar nova casualização. Por exemplo, o pesquisador pode decidir rejeitar certos arranjos indesejáveis. Possivelmente, haja pouca discordância com referência a arranjos extremos como os dois casos referidos anteriormente. Entretanto, como a decisão sobre os arranjos a serem considerados insatisfatórios é arbitrária, pode haver discordância com relação a arranjos menos extremos. Ademais, a rejeição de arranjos extremos altera as conseqüências da casualização para os procedimentos de inferência estatística usuais.

O terceiro procedimento é usar o processo de **casualização restrita**, que consiste em selecionar aleatoriamente a casualização particular para um experimento de um conjunto de arranjos considerados apropriados. Esse conjunto de arranjos é escolhido de modo a excluir tanto os arranjos extremos indesejáveis como aqueles muito balanceados, de tal modo que as conseqüências matemáticas da casualização usual sejam satisfeitas. Esse método é muito especializado para ser considerado neste texto e suas implicações ainda não estão completamente estabelecidas.

Nessas circunstâncias, apesar de seus inconvenientes, o segundo procedimento pode ser a melhor alternativa quando a melhor forma de controle local já está estabelecida. Nesse caso, o melhor caminho é identificar os arranjos indesejáveis e que devem ser rejeitados, antes da casualização. Felizmente, essa questão usualmente não é tão importante na prática, já que, como salientado anteriormente, arranjos extremos ocorrem com chance apreciável apenas em experimentos muito pequenos.

9.7.2 Casualização na implementação de técnicas experimentais

A atribuição aleatória dos tratamentos evita o confundimento tendencioso de efeitos dos tratamentos com efeitos de características estranhas da amostra, mais usualmente de características do material experimental inicial. Entretanto, variação estranha importante não controlada por controle local e por controle estatístico também pode originar-se na implementação de técnicas experimentais, ou seja, em ações e intervenções durante a condução do experimento, até o registro e edição dos dados.

Assim, é importante que a casualização também seja utilizada para evitar o confundimento tendencioso de fontes de variação estranhas que possam surgir durante a condução do experimento. Por exemplo, em situações em que alguma operação é repetida, a ordem de operação pode ser uma fonte de variação estranha importante, em decorrência de algum processo de aprendizagem que tenda a tornar a operação aperfeiçoada com o tempo, ou de fadiga que tenda a ter influência oposta. Confundimento tendencioso dessa origem pode ser evitado pela casualização da ordem da operação nas diferentes unidades. Em algumas circunstâncias, variação estranha pode ser introduzida por algum equipamento.

Situações em que pode ser conveniente a casualização na implementação de técnicas experimentais são ilustradas no **Exemplo 9.22**.

Exemplo 9.22

a) Suponha-se um experimento de nutrição de vacas leiteiras em que o grupo dos animais tenha que ser submetido ao controle de carrapatos através de banho carrapaticida. Se há possibilidade de que a composição do líquido possa alterar-se ao longo dos banhos dos diversos animais, pode ser conveniente a casualização da ordem de banho dos animais.

b) Semelhantemente, em um experimento em que seja requerida a intervenção de algum operador ou avaliador em alguma fase, pode ser conveniente a casualização da ordem de operação ou avaliação das diversas unidades, se há expectativa de que a ordem possa ter qualquer influência sobre o efeito do operador ou avaliador. Esse efeito pode decorrer, por exemplo, de ganho de experiência ou de fadiga ao longo do processo.

Assim como a casualização na atribuição dos tratamentos, a casualização na implementação de técnicas experimentais também é restrita pelo controle local. Por exemplo, na situação mais simples de controle local que compreende uma única classificação das unidades experimentais, essas técnicas experimentais devem ser implementadas grupo por grupo, em ordem aleatória nas unidades de cada grupo.

Casualização com recurso de encobrimento

A casualização também pode ter uso importante em situações em que possa ocorrer alguma variação estranha substancial originada de efeitos de pessoas que intervêm no experimento, como operadores, avaliadores e outros auxiliares, e do próprio pesquisador. Essa fonte de confundimento pode ser controlada com o emprego da casualização junto com encobrimento para esconder das pessoas envolvidas os tratamentos aplicados a cada unidade.

Tendenciosidade dessa origem pode resultar em qualquer etapa do experimento, desde a seleção das unidades até a mensuração das respostas.

Exemplo 9.23

Considere-se um experimento clínico com animais para a comparação de drogas para tratamento de uma doença em que as unidades experimentais são animais que serão incluídos no experimento na medida em que os indivíduos apropriados apareçam na unidade de pesquisa. Nessas situações, é comum, surgirem dúvidas sobre a inclusão de algum animal particular. Se o pesquisador responsável pela decisão referente à inclusão de animais no experimento sabe que o animal, se incluído, receberá um tratamento particular, esse fato pode influenciar a decisão em casos dúbios, consciente ou inconscientemente. Se isso acontece, diferenças entre tratamentos ficam confundidas tendenciosamente com diferenças entre animais.

Nessas circunstâncias, é conveniente que o tratamento a ser assinalado a cada animal particular seja encoberto ao pesquisador, isto é, não seja revelado ao pesquisador. Se a ordem dos tratamentos é determinada por uma casualização inicial e se o procedimento de assinalação dos tratamentos aos animais é disponível ao pesquisador, o encobrimento não será logrado. O método satisfatório é efetuar a casualização após a seleção do animal, ou fazer com que o tratamento que um animal particular deve receber seja indicado em um envelope lacrado que não seja aberto até que o animal tenha sido definitivamente escolhido. Nesse último caso, a ordem dos tratamentos é casualizada pelo controlador do experimento, através da extração aleatória de envelopes sucessivos, e não é revelada ao pesquisador responsável pela escolha dos animais.

Exemplo 9.24

Seja um experimento com cobaias para pesquisa do efeito da testosterona sobre a síntese de proteína em uma região particular do hipotálamo. Diversas doses de testosterona são assinaladas aleatoriamente e injetadas em diferentes grupos de animais. Ao fim de um intervalo de tempo, os animais são sacrificados e são efetuadas análises químicas em tecido do hipotálamo dissecado. Para evitar qualquer influência tendenciosa dos indivíduos que conduzem as fases subseqüentes de dissecação e análises químicas, após o recebimento da injeção, cada animal

recebe um código de identificação para que os tratamentos que eles receberam não sejam conhecidos.

A casualização para encobrimento também pode ser necessária na aplicação de tratamentos, particularmente se as unidades são indivíduos que possam ser influenciados de modo relevante se têm conhecimento dos tratamentos que recebem. Essa situação é ilustrada no seguinte exemplo.

Exemplo 9.25

Suponha-se um experimento com crianças para avaliar o efeito de uma nova pasta dental com adição de flúor. Esse experimento requer dois grupos de crianças: um grupo que receba a nova pasta dental (usualmente denominado **grupo experimental**), e outro que não a receba (**grupo controle**). Um procedimento muito insatisfatório seria assinalar a nova pasta dental à metade das crianças e não dar qualquer tratamento especial à outra metade. De fato, para a obtenção de resultados apropriados, é necessário o acompanhamento para encorajar o uso correto e freqüente da nova pasta dental. Com esse procedimento, qualquer melhoria nos dentes das crianças do grupo experimental poderá ser devida tanto aos méritos particulares da nova pasta como à atenção especial dada à limpeza dos dentes, e não haverá como distinguir esses dois efeitos.

Um procedimento melhor, mas ainda insatisfatório, seria atribuir ao grupo controle uma marca de pasta dental padrão. A objeção a esse procedimento é que o conhecimento pelo grupo ao qual é atribuída a nova pasta do recebimento de um tratamento especial pode influenciá-lo a ser mais diligente do que o grupo controle. O único meio satisfatório de assegurar a ausência da ocorrência de tais efeitos é usar tubos iguais com a nova pasta e com a pasta controle, que, na medida das possibilidades, difiram apenas quanto à presença e ausência do flúor, e que não sejam distinguíveis quanto a sabor, cor, etc. Esse encobrimento também deve estender-se a todas as pessoas que tenham contato com as crianças, incluindo os técnicos responsáveis pelas instruções referentes ao uso da pasta e pela avaliação dos dentes das crianças.

O uso de tratamento placebo (**Seção 8.6.4**), como a pasta controle com tubo igual ao da nova pasta e que essencialmente difere desta apenas quanto à presença de flúor, ilustrado no **Exemplo 9.25**, é um recurso de encobrimento útil em muitas situações..

Essas considerações são geralmente importantes em experimentos em que a aplicação dos tratamentos possa tender a ser influenciada por atitudes pessoais favoráveis a alguns tratamentos. Assim, por exemplo, em um experimento para comparar um novo processo com um processo usual ou uma nova técnica com uma técnica antiga, pode originar-se tendenciosidade como conseqüência de ser devotada mais atenção ao funcionamento do novo processo ou à implementação da nova técnica. Se a possível tendência não pode ser eliminada por encobrimento, em decorrência da natureza do processo, o pesquisador deve recorrer a outros recursos que possam ser úteis para evitá-la.

Em algumas situações, como a ilustrada no **Exemplo 9.25** e, particularmente, em certos experimentos clínicos, pode ser conveniente não informar às unidades os tratamentos que recebem, para evitar que as reações dos pacientes sejam influenciadas. Esse procedimento de controle da tendenciosidade é denominado **unidade cega**. Um experimento em que esse processo de encobrimento é usado é denominado **experimento cego**.

O encobrimento também pode ser conveniente na fase de mensuração. Em muitos campos de pesquisa podem ocorrer tendências pessoais substanciais nessa fase, resultantes de alguma preferência ou rejeição. De modo geral, a casualização com encobrimento é recomendável em qualquer experimento em que o julgamento pessoal possa ter influência considerável sobre o valor observado da variável resposta. Muito freqüentemente o controle da tendenciosidade decorrente de julgamento subjetivo pode ser logrado de modo simples e satisfatório, através da casualização da ordem de avaliação das unidades e do encobrimento de modo que o avaliador não identifique o que está avaliando.

Exemplo 9.26

Em um experimento em tecnologia de alimentos para comparação de um novo processo com processos existentes em que tenha que ser avaliada alguma propriedade organoléptica do produto, o avaliador pode ser, consciente ou inconscientemente, influenciado a emitir julgamento favorável ao novo processo. Nessa situação, a tendenciosidade originada da avaliação subjetiva pode ser controlada através de procedimento que evite que o avaliador tenha conhecimento do tratamento que cada uma das unidades recebeu.

Esse procedimento de controle de tendenciosidade da avaliação é denominado **mensuração cega** ou **avaliação cega (Seção 7.4)**; um experimento que o utiliza é denominado **experimento cego**. Um experimento como o considerado no **Exemplo 9.25**, com o encobrimento dos tratamentos tanto para as unidades como para os avaliadores, é denominado **experimento duplamente cego**.

Casualização para balanceamento de efeitos ambientais

A casualização pode ser empregada, convenientemente, em experimentos em ambiente controlado, como casa de vegetação, estufa e armazém, quando os recipientes das unidades são vasos, caixas, tubos, sacos, etc. que possam ser movimentados durante a condução do experimento, com facilidade e sem prejuízo para as unidades. A mudança periódica desses recipientes para posições determinadas por procedimento de casualização pode lograr uma uniformização do efeito da variação ambiental sobre as condições experimentais ao longo do período experimental. Esse procedimento pode ser uma alternativa ou um complemento ao controle local. No caso de se constituir um complemento ao controle local, a movimentação das unidades deve obedecer ao controle local estabelecido; por exemplo, na situação em que as unidades são estruturadas em blocos, as unidades devem ser movimentadas internamente dentro de cada bloco.

9.8 Alcance do controle experimental

Anteriormente, foram caracterizadas as implicações do controle de técnicas experimentais, do controle local e do controle estatístico, e as conseqüentes restrições a esses procedimentos de controle experimental. A conseqüência dessas restrições é que essas três formas de controle experimental permitem abranger apenas uma fração das características estranhas. As demais permanecem não controladas. A casualização visa o controle dessas características. A exposição da **Seção 9.7** deixou claro que a casualização não tem qualquer implicação e restrição dessa ordem. Sua única restrição é a praticabilidade de implementação.

Na **Seção 8.2** foi caracterizada a distinção entre os conceitos de fator de tratamento e fator intrínseco. Particularmente, foi salientado que não há uma dicotomia nítida dessas duas classes de fator experimental. De fato, fatores experimentais, incluindo fatores de tratamento, não têm existências nas formas puras de suas definições. Assim, por exemplo, não existe o fator de tratamento cultivar como um ente genético puro. Um nível particular desse fator, ou seja, uma cultivar específica, é necessariamente veiculado, em sua aplicação a uma parcela, por uma semente, cuja composição inclui as características que compreendem o ente genético cultivar e, também, um conjunto considerável de características estranhas (ou seja, características não relacionadas a esse ente genético), como vigor, sanidade, pureza, etc. O fator cultivar não pode ser casualizado independentemente dessas características. Em um experimento de sintomas de deficiência de boro em plantas em que os níveis são ausência e presença de boro, pode-se lograr a obtenção da substância boro com elevado grau de pureza e aplicá-la ao solo praticamente sem veiculação de qualquer característica estranha. Nesse caso, boro é um fator de tratamento cuja casualização às parcelas praticamente não envolve características estranhas. No outro extremo situam-se os fatores experimentais local e

ano, inseparáveis de um agregado de características estranhas extremamente relevantes. Estes são fatores eminentemente intrínsecos.

Dessa forma, o controle experimental não pode ser absoluto. Um subconjunto das características estranhas permanecerá, sempre e inevitavelmente, não controlado. Esse subconjunto constitui a classe das características estranhas potencialmente perturbadoras.

Exercícios 9.3

1. Explique e ilustre o significado de controle local. Porque o controle local não tem implicações para a constituição da amostra?
2. Ilustre com um exemplo de experimento de sua área como o controle local adotado para o controle da variação de características estranhas do material experimental inicial pode ser utilizado para o controle adicional de características originadas da implementação de técnicas experimentais durante a execução do experimento.
3. Explique porque em experimentos de ampla abrangência espacial e temporal as classificações das unidades segundo os locais e os períodos devem ser consideradas para controle local.
4. Exemplifique um experimento conduzido em mais de uma etapa em que o controle local seja conveniente para controlar a variação estranha que se manifeste ao longo do tempo.
5. Qual é a condição que deve satisfazer a relação entre a variação estranha entre os grupos considerados para controle local e a variação estranha dentro desses grupos para que o controle local seja eficiente, ou seja, para que conduza ao aumento da precisão para inferências referentes a condições experimentais?
6. Caracterize as distinções entre controle estatístico e controle local. Ilustre o uso desses dois procedimentos de controle experimental.
7. Explique porque a casualização é o último procedimento a considerar no planejamento do controle experimental. Quais são os propósitos da casualização?
8. Quais são as distinções básicas das implicações para o confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de condições experimentais entre casualização, controle local e controle estatístico?
9. Qual é a propriedade fundamental que a casualização deve garantir para a relação entre os tratamentos e as correspondentes unidades experimentais?
10. Ilustre o uso da casualização na implementação de técnicas experimentais com um exemplo de experimento de sua área.
11. Porque a casualização deve obedecer a estrutura das unidades considerada pelo controle local?
12. O que significa encobrimento no experimento? Explique e ilustre o uso de encobrimento dos tratamentos para as unidades de observação e para o avaliador.
13. Explique e ilustre os significados de mensuração cega e experimento cego.
14. O que significa experimento duplamente cego? Dê um exemplo?
15. Ilustre com um exemplo o uso de casualização para balanceamento de efeitos ambientais.

Exercícios de Revisão

1. Porque em experimentos tecnológicos freqüentemente a amostra inicial deve ter abrangência espacial e temporal ampla?
2. Liste os temas relevantes que devem ser considerados no planejamento da constituição das unidades experimentais.
3. Liste e explique abreviadamente as propriedades essenciais que as unidades experimentais devem satisfazer que estabelecem um limite mínimo para as suas dimensões.
4. Explique, com um exemplo, as implicações que a forma das unidades pode ter para a precisão e para a validade interna do experimento.

5. Liste, conceitue e ilustre os procedimentos de controle experimental, através de exemplos de experimentos de sua área.
6. Discuta as implicações de cada um desses procedimentos quanto à constituição da amostra.
7. Explique porque o controle de técnicas experimentais é o primeiro procedimento a considerar no planejamento do controle experimental.
8. Ilustre, através de um exemplo, técnicas experimentais utilizadas na preparação do material experimental inicial, durante a condução do experimento e na coleta e registro dos dados.
9. Dê exemplos de situações em que os tratamentos têm que ser preparados para o experimento.
10. Ilustre com exemplos de sua área situações em que os tratamentos requerem: aplicação única em um mesmo momento; b) aplicação única em um mesmo intervalo de tempo; c) aplicação múltipla em diversos momentos iguais; e d) aplicação múltipla em diversos intervalos de tempo coincidentes.
11. Que condições uma técnica experimental deve satisfazer para que não prejudique a representação da população objetivo pela amostra?
12. As unidades experimentais (parcelas) de um experimento agrícola de campo com um único fator experimental têm as seguintes especificações:
 - comprimento das linhas: 5m,
 - distância entre linhas: 0,60m,
 - número de linhas na área total: 5,
 - número de linhas na área útil: 3, excluídas as 2 linhas laterais.
 - a) Apresente um croqui identificando a unidade experimental e distinguindo a área total e área útil da parcela.)
 - b) Determine as dimensões da área total e da área útil da parcela.
13. Qual é o propósito da "bordadura" em um experimento agrícola de campo?
14. De que forma pode ser evitada a contaminação de efeitos de tratamentos em parcelas vizinhas na experimentação agrícola de campo?
15. Conceitue e ilustre com um exemplo de sua área período pré-experimental e período experimental.
16. Em que circunstâncias pode ser importante um período pré-experimental?
17. Através de exemplos de sua área, ilustre o confundimento que usualmente resulta de efeitos atribuíveis a tratamentos com efeitos de fontes de variação estranha. Como o pesquisador pode lograr a redução desse confundimento?
18. Liste os propósitos para os quais podem ser importantes dados de variáveis que exprimem características estranhas da amostra. Ilustre dados que possam ser importantes para esses diversos propósitos através de exemplos de sua área.
19. Explique e ilustre o significado de número de dígitos significativos em um dado.
20. Ilustre o procedimento para o arredondamento dados.
21. Explique e ilustre os significados de dados originais e dados derivados. Quais desses dados são registrados na planilha de dados? Como são obtidos os dados derivados?
22. O que significa "parcela perdida"? Ilustre situações de experimentos de sua área de pesquisa em que podem ocorrer parcelas perdidas.
23. Em que consiste o controle local na pesquisa experimental? Qual é o seu propósito? Quais são suas implicações quanto ao procedimento de atribuição dos tratamentos às unidades experimentais?
24. Ilustre a implementação de controle local segundo um mesmo critério em mais de uma fase do experimento. Qual é a conveniência dessa exploração do controle local?
25. Ilustre um experimento de longa duração em que seja conveniente o controle local da variação estranha que se manifesta ao longo do tempo.

26. Discuta e ilustre o uso de controle estatístico no experimento.
27. Explique e ilustre as condições ou pressuposições para o emprego do controle estatístico.
28. Quais são os dois propósitos básicos da casualização?
29. Discuta as possíveis dificuldades associadas com o processo de casualização.
30. O que significa casualização restrita? Em que casos se admite ou recomenda o uso de restrições na casualização? Exemplifique.
31. Ilustre com exemplos de sua área usos da casualização na implementação de técnicas experimentais.
32. Com o recurso de uma tabela de dígitos aleatórios, gere uma permutação aleatória dos números inteiros de 1 a 20. Explique os passos percorridos no processo adotado.
33. Suponha que você está planejando um experimento com 5 tratamentos e que tenha que efetuar a atribuição aleatória desses tratamentos a 20 parcelas, sem qualquer restrição à casualização. Descreva e ilustre o processo de casualização com a utilização de uma tabela de dígitos aleatórios. Apresente o resultado da casualização em um esquema (croqui) com a disposição das parcelas.
34. Suponha, alternativamente, que no experimento de que trata o exercício anterior deve ser efetuado o controle local simples, através da classificação das 20 parcelas em 4 grupos de 5 parcelas, cada um desses grupos constituído por parcelas mais homogêneas do que o conjunto das 20 parcelas. Descreva e ilustre o processo de casualização para essa nova situação, com a utilização de uma tabela de dígitos aleatórios. Apresente o resultado da casualização em um esquema (croqui) com a disposição das parcelas.
35. Exemplifique experimentos em que pode ser importante o encobrimento dos tratamentos para as unidades de observação.
36. Ilustre uma situação de sua área em que a mudança das posições das parcelas ao longo do período experimental pode lograr a homogeneização do efeito de ambiente
37. Explique porque o controle experimental das características estranhas da amostra em geral não é absoluto.
38. Indique a conseqüência que o pesquisador espera resultar para a representação da população objetivo pela amostra (1) e para a grandeza (2) e a não tendenciosidade (3) da estimativa da variância do erro experimental de cada uma das ações listadas na primeira coluna da tabela que segue, preenchendo nas correspondentes células dessa tabela as letras A - aumento, D - diminuição, N - nenhuma.

Ação	(1)	(2)	(3)
Controle de técnicas experimentais:			
Controle local:			
Controle estatístico:			
Casualização:			

39. Complete as sentenças que seguem, preenchendo apropriadamente os espaços em branco:
 - a) Os procedimentos para o controle experimental devem ser considerados na seguinte ordem:
 - 1 -, 2 -,
 - 3 - e 4 - Características estranhas controladas por são excluídas da constituição da amostra. e não alteram a constituição da amostra; entretanto, permitem excluir da variação atribuível a condições experimentais e da estimativa do erro experimental para inferências referentes a essas condições a variação que é atribuível às características estranhas controladas. não tem essas conseqüências; permite que as variações atribuíveis às condições experimentais e ao erro experimental sejam estimadas de modo não tendencioso.
 - b) O período de execução do experimento é usualmente designado
Em alguns experimentos é conveniente um período para

preparação e adaptação das unidades às condições em que estarão sujeitas durante a execução do experimento.

- c) Os de um experimento são os valores observados das variáveis respostas e de variáveis estranhas úteis para determinação de valores de variáveis respostas ou que sejam importantes para outros propósitos. Uma planilha para o registro dos dados de um experimento é uma tabela de duas entradas com dispostas em linhas e em colunas. Nessa tabela, em cada linha são registrados os das diversas provenientes de uma unidade de observação particular; em cada coluna são registrados os dados de uma particular registrados em todas as unidades de observação.
- d) O número de dígitos dos dados de uma variável que exprimem a precisão do processo de mensuração é denominado Muito freqüentemente os dados de uma variável não são exatos, mas aproximações dos correspondentes valores reais. Um valor registrado nessas circunstâncias é dito para o último algarismo significativo.
- e) O de uma característica estranha é uma classificação das unidades de observação segundo os níveis dessa característica e a subsequente atribuição dos as correspondentes unidades experimentais por procedimento que leve em conta essa classificação das unidades. Esse procedimento de controle experimental visa evitar ou diminuir o , ou seja, a interferência dos efeitos de características estranhas sobre efeitos de características explanatórias.
- f) é um procedimento de controle experimental que não tem implicações sobre a grandeza do confundimento de efeitos de com efeitos de Seu propósito é evitar que esse confundimento seja tendencioso. Esse procedimento é utilizado na aplicação dos às unidades experimentais e na implementação de
- g) Os devem ser aplicados às correspondentes unidades experimentais por processo que garanta a classificação das unidades estabelecida pelo
- h) Um experimento em que os tratamentos são encobertos para as unidades ou as unidades são encobertas para os avaliadores é denominado Um experimento com encobrimento dessas duas origens é denominado
40. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando entre parênteses as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () O conhecimento mítico antecedeu o conhecimento empírico.
 - 2 () O controle experimental evita o confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de fontes de variação estranhas.
 - 3 () O controle de técnicas experimentais tem como propósito a homogeneização das características estranhas na amostra.
 - 4 () O controle local e o controle estatístico são efetivados na análise estatística dos resultados do experimento.
 - 5 () O emprego do controle local é mais limitado em experimentos tecnológicos.
 - 6 () O controle local de uma característica estranha é sempre mais conveniente do que o controle estatístico.
 - 7 () O controle local em experimentos científicos é desnecessário.
 - 8 () O controle experimental deve ser definido no planejamento do experimento.
 - 9 () As técnicas experimentais são ações executadas durante a condução do experimento com o propósito de controle experimental.
 - 10 () A implementação de uma técnica experimental pode implicar no aumento do viés do experimento.

- 11 () O controle de técnicas experimentais, quando adequado, é o procedimento mais eficaz para o controle de características estranhas da amostra.
- 12 () O material experimental compreende os três seguintes subconjuntos de características da amostra: as características explanatórias, as características estranhas e as características respostas.
- 13 () O pesquisador define completamente a amostra no plano do experimento
- 14 () Se cultivar é um fator experimental em um experimento, a semente compreende apenas características inerentes a esse fator.
- 15 () Tratamento é um componente ou elemento dos sistemas já existente cuja manifestação nas unidades da amostra o pesquisador controla.
- 16 () Um experimento de ampla abrangência é um experimento conduzido em um número muito elevado de posições no espaço e no tempo.
- 17 () Um experimento tecnológico não é necessariamente um experimento de ampla abrangência espacial e temporal.
- 18 () Técnicas experimentais devem ser sempre empregadas para lograr a homogeneidade do material experimental.
- 19 () Em um experimento agrícola de campo, a unidade de observação é constituída por todas as plantas na parcela.
- 20 () O período pré-experimental é a fase de preparação e adaptação das unidades antes da execução do experimento para que possa ser lograda na amostra a simulação adequada das unidades na população objetivo.
- 21 () Em um experimento agrícola de campo com semeadura, a semeadura deve ser efetuada simultaneamente em todas as parcelas.
- 22 () Em um experimento com animais, os animais podem ingressar no experimento em diferentes instantes.
- 23 () Os tratamentos são, sempre, aplicados simultaneamente a todas as unidades experimentais.
- 24 () Qualquer desvio dos momentos previstos para a aplicação dos tratamentos implica em confundimento de seus efeitos com efeitos de características estranhas.
- 25 () Dados coletados em um experimento não se referem apenas a características respostas.
- 26 () Dados de variáveis respostas são sempre coletados ao fim do experimento.
- 27 () Em experimentos com plantas com estande final variável, o controle estatístico da variação atribuível a esse estande é sempre recomendável.
- 28 () Uma co-variável é uma variável resposta.
- 29 () A desconsideração de dados de alguma unidade experimental prejudicada por alguma fonte de variação estranha origina o que se denomina de parcela perdida.
- 30 () Algumas vezes, dados de um experimento são coletados antes do período experimental.
- 31 () A definição de uma variável estabelece o número de algarismos dos dados a serem coletados referentes a essa variável.
- 32 () Dados devem ser registrados com dígitos em número no mínimo igual àquele que exprime a precisão real do processo de mensuração.
- 33 () Um mesmo critério de controle local pode ser utilizado para o controle de muitas características estranhas.
- 34 () O controle local é efetuado no momento de aplicação dos tratamentos.
- 35 () O controle local sempre implica na diminuição da variância do erro experimental.
- 36 () O mesmo critério de controle local pode ser utilizado para o controle de fontes de variação estranhas que se manifestam em diferentes fases do experimento.
- 37 () O controle local e o controle estatístico não interferem na constituição da amostra.

- 38 () O pesquisador não pode lograr precisão elevada de um experimento com material experimental heterogêneo.
- 39 () O controle local é sempre mais eficiente do que o controle estatístico.
- 40 () Características estranhas controladas por controle local devem ser mensuradas.
- 41 () Um mesmo critério de controle estatístico pode ser utilizado para o controle de muitas características estranhas da amostra.
- 42 () Características estranhas controladas por controle estatístico devem ser mensuradas.
- 43 () Análise da co-variação é o procedimento estatístico que efetiva o controle estatístico.
- 44 () A casualização tem o propósito da redução da variação estranha na amostra.
- 45 () A casualização é uma forma de controle experimental.
- 46 () O propósito da casualização da atribuição dos tratamentos às unidades é a casualização de características estranhas da amostra.
- 47 () A casualização logra a casualização de todas as características estranhas da amostra não controladas pelos outros procedimentos de controle experimental.
- 48 () A casualização pode ser utilizada com proveito para evitar a manifestação de fontes de variação estranhas resultantes de intervenções durante a condução do experimento.
- 49 () A casualização deve ser procedida com obediência ao controle local.
- 50 () A casualização deve suceder ao controle local.
- 51 () A casualização logra o controle de todas as características estranhas da amostra não controladas pelas outras formas de controle experimental.
- 52 () O pesquisador jamais deve rejeitar o resultado de uma casualização.
- 53 () Encobrimento é uma técnica para esconder da unidade o tratamento que recebe.
- 54 () O julgamento subjetivo de um avaliador pode ser evitado por encobrimento.

Conceitos e Termos Chave

- Amostra inicial / Material experimental inicial
- Controle experimental
- Controle de técnicas experimentais
- Tamanho da unidade experimental
- Composição da unidade experimental
- Forma da unidade experimental
- Número de repetições requerido
- Diferença mínima detectável
- Período pré-experimental
- Período experimental
- Coleta dos dados
- Unidade perdida/ parcela perdida
- Número de dígitos significativos
- Planilha de dados
- Edição dos dados
- Arquivo de dados / Base de dados
- Crítica dos dados
- Controle local
- Controle estatístico
- Co-variável estranha
- Análise da co-variação
- Casualização
- Casualização na atribuição dos tratamentos
- Casualização na implementação de técnicas experimentais
- Casualização com recurso de encobrimento
- Mensuração / avaliação cega
- Unidade cega
- Experimento cego
- Experimento duplamente cego
- Balanceamento de efeitos ambientais

Bibliografia

- COBB, G. W. **Introduction to design and analysis of experiments**. New York: Springer-Verlag, 1998. 795p.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2. ed. New York: John Willey, 1957. 617p.
- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- DYKE, G. V. **Comparative experiments with field crops**. Londres: Butterworths, 1974. 211p.
- FEDERER, W. T. **Statistics and society, data collection and interpretation**. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- FEDERER, W. T. **Experimental design: theory and application**. New York: Macmillan, 1955. 593p.
- FINNEY, D. J. **An introduction to statistical science in agriculture**. 4.ed. Copenhagen: Scandinavian University Books, 1972. 290p.
- FISHER, R. A. **The design of experiments**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1935. 248p.
- KEMPTHORNE, O. Why randomize? **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.1, p.1-25, 1977.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. Huntington, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979. 631 p.
- KEMPTHORNE, O. Sampling inference, experimental inference and observation inference. **Sankhya**, 40, Serie B, Parts 3 and 4, p.115-145, 1979.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. v.1. 495p.
- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- KUEHL, R. O. **Design of experiments: Statistical principles of research design and analysis**. 2. ed. Pacific Grove, Califórnia: Brooks/Cole, 2000. 666p.
- LORENZEN, T. J.; ANDERSON, V. L. **Design of experiments; a non-named approach**. New York: Marcel Dekker, 1993. 414p.
- OSTLE, B; MALONE, L. C. **Statistics in research: Basic principles and techniques for research workers**. 4. ed. Ames: Iowa State University, 1988. 664p.
- PEARCE, S. C. **Field experimentation with fruit trees and other perennial plants**. Technical Communication N° 23, Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling, 131, 1953.
- PETRIE, A.; WATSON, P. **Statistics for veterinary and animal sciences**. Oxford: Blackwell Science, 1999. 243p.
- RILEY, J; RYDER, K. Forms for recording details and results of field experiments. **Experimental Agriculture**, v.15, p.1-14, 1979.

- SELWYN, M. R. **Principles of experimental design for the life sciences**. Boca Raton, Florida: CRC, 1996. 160 p.
- SILVA, J. G. C. da. O ensino da Estatística no Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária. In: ENCONTRO NACIONAL DE MÉTODOS QUANTITATIVOS, III, **Anais**. Brasília, 20-22 junho, 1995. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 1995. p.89-107.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**, versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, 1996. 427p.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1952. 373p.
- Zar, J. H. **Biostatistical analysis**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 931p.

10

Estrutura das Unidades e Delineamento do Experimento

Conteúdo

10.1	Introdução.....	439
10.2	Estruturas das Unidades.....	439
10.3	Estruturas das Unidades de Experimentos de Abrangência Restrita	440
10.3.1	Estruturas de unidades de observação simples.....	440
10.3.1.1	Estrutura de unidades unifatorial	441
10.3.1.2	Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica	442
10.3.1.3	Estrutura de unidades de dois fatores cruzada	445
10.3.1.4	Estrutura de unidades de três fatores hierárquica.....	447
10.3.1.5	Estrutura de unidades de quatro fatores mista.....	450
10.3.2	Estruturas de unidades de observações múltiplas	453
10.3.2.1	Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica	453
10.3.2.2	Estrutura de unidades de três fatores hierárquica.....	454
10.3.2.3	Estrutura de unidades de três fatores mista.....	455
10.3.3	Estruturas de unidades de observações repetidas.....	457
10.3.3.1	Estrutura de unidades de dois fatores cruzada	457
10.3.3.2	Estrutura de três fatores mista.....	458
10.4	Estruturas das Unidades de Experimentos de Abrangência Ampla.....	460
	Estruturas de unidades de abrangência ampla no espaço.....	460
	Estruturas de unidades de abrangência ampla no tempo	460
	Estruturas de unidades de abrangência ampla no espaço e no tempo	460
10.5	Estrutura do Experimento ou Delineamento Experimental	462
10.6	Delineamentos para Estruturas de Condições Experimentais Unifatoriais	463
10.6.1	Estrutura de unidades unifatorial	464
	Casualização	464
	Estrutura do experimento.....	465
	Caracterização e usos do delineamento	466
	Vantagens e desvantagens.....	468
	Vantagens	468
	Desvantagens.....	468
10.6.2	Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica	468
10.6.2.1	Delineamento em blocos completos	469
	Casualização	469
	Estrutura do experimento.....	470
	Caracterização e usos do delineamento	471
	Vantagens e desvantagens.....	475
10.6.2.2	Delineamentos em blocos com mais de uma repetição de cada tratamento ...	476
	Casualização	476
	Estrutura do experimento.....	477
	Caracterização e usos	478

	Vantagens e desvantagens.....	480
10.6.2.3	Delineamento em blocos com mais de uma repetição de alguns tratamentos	480
10.6.2.4	Delineamento em blocos incompletos.....	481
10.6.3	Estrutura de unidades de dois fatores cruzada	482
10.6.3.1	Delineamento em quadrado latino	482
	Casualização	482
	Estrutura do experimento.....	484
	Caracterização e usos	485
	Vantagens e desvantagens.....	488
10.7	Delineamentos para estruturas de condições experimentais fatoriais	489
10.7.1	Delineamentos com parcelas divididas	489
	Casualização	490
10.7.2	Delineamentos em blocos divididos em faixas.....	491
10.7.3	Delineamentos para estruturas de condições experimentais fatoriais em	
	blocos incompletos	492
10.8	Delineamentos com estruturas de unidade de observações múltiplas	492
10.9	Delineamentos para estruturas de unidade de observações repetidas	492
10.10	Delineamentos de Experimentos de Abrangência Ampla	492
10.11	Resumo.....	493
	Exercícios de Revisão	494
	Conceitos e Termos Chave	496
	Bibliografia	497

10.1 Introdução

No planejamento do experimento o pesquisador exerce a escolha do material experimental, ou seja, a escolha das características respostas, a escolha das características explanatórias e a escolha das características estranhas e do controle dessas características. Usualmente essas escolhas são limitadas pela inacessibilidade da população objetivo e por restrições de recursos.

Nos capítulos anteriores, tratou-se do processo dessas escolhas, ou seja, do planejamento da resposta, do planejamento das condições experimentais e do planejamento das características estranhas e do controle experimental. Esses planejamentos estabelecem a estrutura da resposta, a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades. A relação estrutural entre essas três estruturas determina a estrutura do experimento.

Muito freqüentemente, a estrutura da resposta é simples. Essa simplicidade decorre de ausência de relação entre as variáveis respostas ou da consideração do tempo como um fator experimental adicional, no caso mais usual de estruturação que compreende observações repetidas sobre unidades (**Seção 7.7**). Nessas circunstâncias, a estrutura do experimento é muito freqüentemente estabelecida pela relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades. A relação dessas duas estruturas é estabelecida pela casualização, ou seja, pela atribuição aleatória dos níveis dos fatores de tratamento às unidades da amostra e pela manifestação dos níveis dos fatores intrínsecos nessas unidades. A especificação correta da estrutura do experimento depende das definições corretas daquelas duas estruturas e do procedimento de casualização.

A definição da estrutura do experimento é parte fundamental do planejamento do experimento. Ela deve ser elaborada de modo que o experimento tenha habilidade para a detecção das diferenças de respostas reais importantes atribuíveis a fatores experimentais com os recursos disponíveis. Esse foi o tópico do **Capítulo 6**.

Neste Capítulo, faz-se uma descrição das estruturas de unidades e das estruturas de experimentos, que muito freqüentemente recebem a denominação de delineamentos de experimentos. Assim, a **Seção 10.2** descreve as estruturas de unidades mais usuais, complementando as considerações feitas na **Seção 9.5**. Essas estruturas de unidade são caracterizadas e ilustradas, e são apresentadas suas representações simbólicas e por diagramas de Hasse. A estrutura do experimento é o tema das seções que seguem (**Seções 10.5 a 10.10**). Nessas Seções são definidos e ilustrados os delineamentos experimentais mais usuais e são apresentadas suas representações simbólicas e por diagrama de Hasse.

10.2 Estruturas das Unidades

As unidades de observação são estruturadas por classificações segundo os níveis de características estranhas relevantes que são determinadas ou levadas em conta pelo controle local. Esse procedimento de controle experimental tem duas implicações importantes para as inferências: a) possibilita a manifestação dos efeitos relevantes dos fatores experimentais livres de confundimento com efeitos de características estranhas, e b) separa a variação atribuível a essas características do erro experimental que afeta esses efeitos. (**Seção 9.5**).

Uma característica estranha a que corresponde uma classificação das unidades de observação que é estabelecida ou levada em conta pelo controle local é um **fator de unidade**. Os níveis dessa característica estranha são os **níveis** desse fator de unidade. (**Seção 5.6.2**).

O material experimental pode compreender um ou mais fatores de unidade.

As relações entre os níveis dos fatores de unidade de um experimento constituem a **estrutura dos fatores de unidade** ou **estrutura das unidades**.

Por definição, a estrutura das unidades compreende pelo menos um fator de unidade cujos níveis são as unidades de observação. Um fator de unidade adicional decorre de cada classificação relevante dessas unidades constituída ou levada em conta pelo controle local.

A variação entre os níveis de um fator de unidade é um componente do erro experimental global (**Seções 5.6**). O controle local decompõe ou estratifica o erro experimental global em tantos estratos quantos são os fatores de unidade.

A fração do erro experimental global que corresponde a um fator de unidade constitui um **estrato do erro experimental**.

A estrutura das unidades depende da unidade de observação; portanto, ela pode variar com a variável resposta. Assim, para um experimento com mais de uma variável resposta pode ser apropriado considerar mais de uma estrutura de unidades.

As formas das estruturas de unidades são semelhantes às formas das estruturas de condições experimentais (**Seção 8.7**). Considerar-se-á, a seguir, algumas das estruturas de unidades importantes referentes a experimentos de abrangência restrita e a experimentos de abrangência ampla.

10.3 Estruturas das Unidades de Experimentos de Abrangência Restrita

Experimentos de abrangência restrita são conduzidos em uma única seção do espaço (em um único laboratório ou um único campo experimental, por exemplo) e em uma única seção do tempo (em um único ano, uma única safra ou um único período, por exemplo) (**Seção 4.3**).

Estruturas de unidades de experimentos de abrangência restrita compreendem as seguintes classes:

- estruturas de unidades de observação simples,
- estruturas de unidades de observações múltiplas e
- estruturas de unidades de observações repetidas.

Em um experimento com mais de uma variável resposta pode ocorrer mais de uma dessas estruturas de unidades.

Estruturas de unidades de observações múltiplas e de observações repetidas são derivações de estruturas de observação simples. Essas três classes de estruturas de unidades são descritas a seguir.

10.3.1 Estruturas de unidades de observação simples

Em uma **estrutura de unidades de observação simples** a unidade de observação é a unidade experimental elementar.

Isso significa que em experimentos com mais de uma formação de unidades experimentais a unidade de observação é a unidade experimental de menor dimensão (**Seção 5.4**).

As estruturas de unidades de observação simples compreendem as seguintes subclasses:

- estrutura de unidades unifatorial,
- estrutura de unidades fatorial cruzada,

- estrutura de unidades fatorial hierárquica e
- estrutura de unidades fatorial mista.

Estruturas cujas unidades relacionam-se segundo suas disposições no espaço ou no tempo podem ser convenientemente representadas através de croquis que mostrem as posições relativas das unidades. Também podem ser representadas por símbolos e por diagramas, a semelhança de estruturas de condições experimentais.

Algumas estruturas de unidades de observação simples mais usuais são caracterizadas e ilustradas a seguir.

10.3.1.1 Estrutura de unidades unifatorial

A estrutura de unidades mais simples corresponde à situação em que a variação das características estranhas do material experimental é irrelevante de modo que não há classificações das unidades de observação importantes para propósito de controle local. Nessas circunstâncias, há uma única formação de unidades experimentais que são as próprias unidades de observação e essas unidades são as classes da uma única classificação do conjunto das unidades de observação. As unidades de observação ou unidades experimentais recebem a denominação de **parcelas** e são aninhadas no material experimental, o que pode ser representado por:

Material experimental \leftarrow Parcelas.

Como o material experimental é uma classificação das unidades de observação com uma única classe, ele não é considerado um fator de unidade. Entretanto, ele é incluído para completude da representação da relação estrutural das unidades. Então, essa estrutura compreende um único fator de unidade que recebe a designação de **parcela**.

A **Figura 10.1** apresenta um croqui que ilustra estrutura de unidades unifatorial.

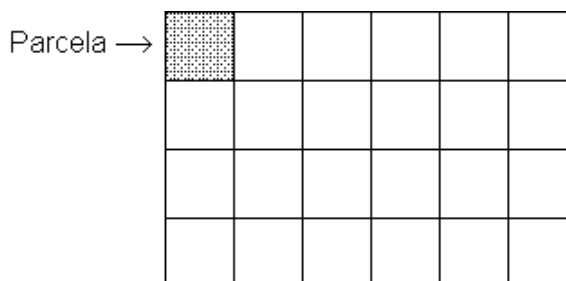


Figura 10.1. Croqui de uma estrutura de unidades unifatorial com um único fator: parcela com 24 níveis.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por E que denota o fator de unidade: parcela, e é representada pelo diagrama da **Figura 10.2**, onde M_u denota o material experimental. Na representação simbólica de fatores de unidades a letra E é usualmente utilizada para denotar o fator de unidade cujos níveis são as unidades de observação.



Figura 10.2. Diagrama da estrutura de unidades unifatorial com fator E: E.

Os exemplos que seguem são ilustrativos de estrutura de unidades unifatorial.

Exemplo 10.1

a) Material experimental: sementes de milho provenientes de um lote homogêneo; recipientes com solução nutritiva completa para o desenvolvimento da planta, exceto pela ausência de cobre; casa de vegetação com variação ambiental irrelevante; implementação uniforme de técnicas de cultivo e de procedimentos de mensuração e registro dos dados.

Unidade de observação para variáveis respostas mensuradas globalmente para o recipiente, tal como peso da matéria seca da parte aérea: o recipiente.

Unidade experimental elementar: o recipiente com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: A homogeneidade das características estranhas do material experimental dispensa o controle local. Assim, há uma única classificação das unidades de observação (recipientes) para constituírem o conjunto do material experimental. Logo, a estrutura das unidades para as variáveis respostas mensuradas para o recipiente compreende apenas um fator: parcela, que neste caso pode receber a designação particular de recipiente; seus níveis são os recipientes individuais.

b) Material experimental: Cordeiros machos homogêneos quanto à idade e demais características individuais que são mantidos juntos em um mesmo potreiro durante o período experimental; técnicas de manejo e de mensuração e registro dos dados procedidas de modo uniforme.

Unidade de observação para variáveis que exprimem características individuais do cordeiro, como peso corporal e características de carcaça: o cordeiro.

Unidade experimental elementar: o cordeiro com as correspondentes características do material experimental.

Estrutura das unidades: As unidades de observação são homogêneas, o que significa que não há qualquer característica estranha relevante que deva ser considerada para controle local. Portanto, a estrutura das unidades para as variáveis que exprimem variáveis respostas relevantes é unifatorial; o único fator de unidade pode ser denominado cordeiro; seus níveis são os cordeiros individuais.

c) Material experimental: Plantas escolhidas de um pomar de pessegueiro uniformes quanto ao vigor e demais características individuais; técnicas de cultivo e de mensuração e registro dos dados também uniformes.

Unidade de observação para variáveis que exprimem características da planta, como peso da produção de frutos e demais características referentes à produção de frutos: a planta.

Unidade experimental elementar: a planta com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: A homogeneidade das plantas quanto ao potencial para produção expresso pela uniformidade de vigor caracteriza a desnecessidade de controle local. Então, a estrutura das unidades para as variáveis respostas referentes à produção de frutos compreende um único fator a planta; os níveis desse fator são as plantas individuais.

10.3.1.2 Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica

Uma estrutura de unidades hierárquica ou aninhada de dois fatores pode resultar de controle local simples ou da formação de grupos de unidades de observação para constituírem uma segunda formação de unidades experimentais. Essas duas situações são descritas a seguir.

1) Há uma característica estranha relevante do material experimental que é controlada por controle local. As unidades de observação são as unidades experimentais de uma única formação de unidades experimentais e são classificadas para propósito de controle local segundo os níveis dessa característica estranha. Então, há duas classificações das unidades de observação em uma das quais as classes são as próprias unidades de observação e na outra, os níveis da característica estranha controlada por controle local. As unidades de observação ou unidades experimentais, que também são denominadas **parcelas**, são aninhadas nos níveis da característica estranha controlada,

que recebem a designação de **blocos**, e estes, no material experimental, o que é representado por:

Material experimental ← Blocos ← Parcelas.

Essa estrutura de unidades compreende dois fatores que recebem as designações de **parcela** e **bloco**, cujos seus níveis são as parcelas e os blocos, respectivamente. O fator parcela é aninhado no fator bloco. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.3**.

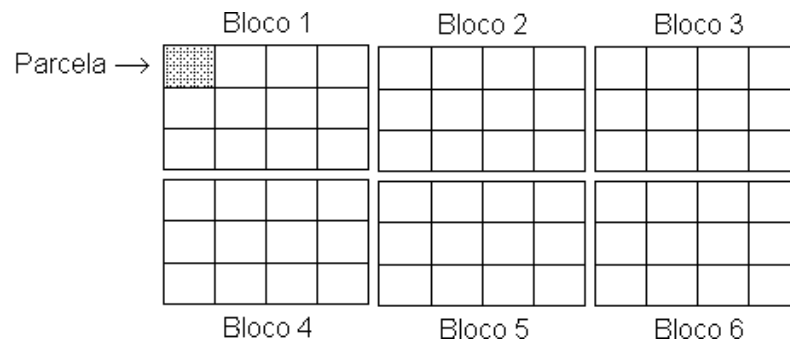


Figura 10.3. Estrutura de unidades hierárquica de dois fatores: parcela e bloco, respectivamente com 72 e 6 níveis; o fator parcela é aninhado no fator bloco.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por U/E, onde E e U denotam os fatores de unidade: parcela e bloco, respectivamente, e é representada pelo diagrama de Hasse da **Figura 10.4**, onde M_u denota o material experimental.

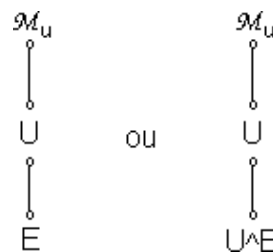


Figura 10.4. Diagrama da estrutura de unidades hierárquica de dois fatores E e U com fator E aninhado no fator U: U/E.

O **Exemplo 10.2** provê ilustrações dessa forma de estrutura hierárquica de dois fatores de unidade com suposição de alterações das duas composições de material experimental consideradas no **Exemplo 10.1** b) e c).

Exemplo 10.2

a) Material experimental: Cordeiros machos heterogêneos quanto à idade; demais características descritas no **Exemplo 10.1** b).

Controle local: Os animais são classificados em grupos de animais de idades próximas que são considerados suficientemente homogêneos. Dessa forma a heterogeneidade dos animais quanto à idade é controlada pela formação desses grupos ou blocos de animais.

Unidade de observação para variáveis respostas relevantes: o cordeiro.

Unidade experimental elementar: a própria unidade de observação, ou seja, o cordeiro com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: Há duas classificações relevantes das unidades de observação cujas classes são os cordeiros individuais e os níveis de idade. Então, a estrutura das unidades

para as variáveis respostas que exprimem peso corporal e características de carcaça compreende dois fatores: cordeiro (parcela) e idade (bloco); os níveis do primeiro fator são os cordeiros individuais e os níveis do segundo fator, as classes de idade. O fator cordeiro é aninhado no fator idade.

b) Material experimental: Plantas heterogêneas quanto ao vigor; demais características descritas no **Exemplo 10.1 c)**.

Controle local: As plantas são classificadas em grupos (blocos) de plantas de modo que as plantas de cada bloco sejam semelhantes quanto ao vigor. Assim, a heterogeneidade das plantas no que se refere ao potencial para produção de frutos é controlada pela formação desses blocos.

Unidade de observação para variáveis respostas referentes à planta: a planta.

Unidade experimental elementar: a própria unidade de observação, ou seja, a planta com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: Há duas classificações das plantas; as classes correspondentes a essas duas classificações são as plantas individuais e os blocos de plantas similares quanto ao vigor. Logo, a estrutura das unidades para as variáveis respostas referentes à planta compreende dois fatores: planta (parcela) e vigor (bloco), cujos níveis são as plantas e os níveis de vigor, respectivamente. o fator planta é aninhado no fator vigor.

2) O material experimental é homogêneo quanto à composição de características estranhas. Portanto, não há imposição de controle local. As unidades de observação constituem a formação de unidades experimentais elementares e são agrupadas em subconjuntos de unidades para constituírem uma segunda formação de unidades experimentais. Assim, há duas classificações das unidades de observação; as classes dessas duas classificações são as unidades experimentais elementares (unidades de observação) e as unidades experimentais da segunda formação de unidades experimentais, que usualmente recebem as denominações de **subparcelas** e **parcelas**, respectivamente. As subparcelas são aninhadas nas parcelas e estas, no material experimental, o que é representado por:

Material experimental ← Parcelas ← Subparcelas.

Os dois fatores dessa estrutura de unidades recebem as designações de **subparcela** e **parcela**; seus níveis são as subparcelas e as parcelas, respectivamente. O fator subparcela é aninhado no fator parcela. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.5**.

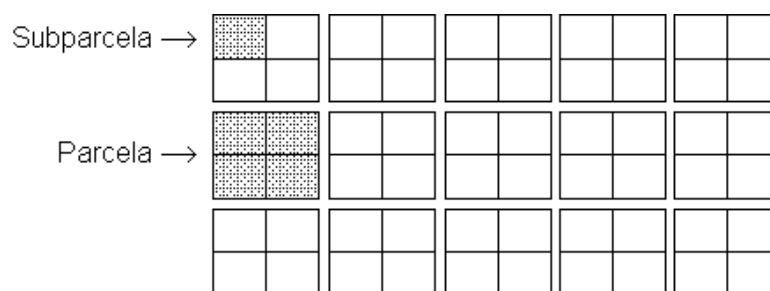


Figura 10.5. Estrutura de unidades hierárquica de dois fatores: subparcela e parcela, respectivamente com 60 e 15 níveis; o fator subparcela é aninhado no fator parcela.

O símbolo dessa estrutura de unidades é o mesmo da situação 1), ou seja, U/E, onde, agora, E e U denotam os fatores de unidade: subparcela e parcela, respectivamente, e seu diagrama é o mesmo apresentado na **Figura 10.4**.

Essa estrutura de unidades pode ser apropriada para situações de dois ou mais fatores experimentais em que sejam requeridas duas dimensões de unidades experimentais. Esse pode ser o caso, por exemplo, de dois fatores experimentais um dos quais requiera unidades experimentais de dimensões grandes que possam ser divididas

em subunidades para constituir as unidades experimentais para o outro fator experimental cujos níveis possam ser alojados em unidades de pequenas dimensões.

Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo **Exemplo 10.3**.

Exemplo 10.3

a) Material experimental: Videiras de um pomar homogêneas quanto às características individuais; características uniformes referentes ao ambiente, técnicas de cultivo e procedimentos de mensuração e registro de dados.

Formação das unidades experimentais: O pomar é dividido em grupos de plantas contíguas.

Unidade de observação para as variáveis respostas que exprimem a produção de uva, como peso da produção de cachos e número de cachos: a planta.

Unidade experimental elementar para um ou mais fatores experimentais que possam ser assinalados a uma planta: a unidade de observação, ou seja, a planta com as características do material experimental que lhe correspondem.

Unidade de segunda formação de unidades experimentais: grupo de plantas contíguas que constitui a unidade experimental para um ou mais fatores experimentais que requeiram unidade experimental composta por duas ou mais plantas com as correspondentes características do material experimental.

Estrutura das unidades: As plantas são as unidades experimentais elementares e são classificadas em grupos de plantas contíguas para constituírem a segunda formação de unidades experimentais. Assim, a estrutura das unidades para peso da produção de cachos, número de cachos e outras variáveis respostas referentes à produção de uva compreende dois fatores: planta (subparcela) e grupo de plantas (parcela), com o fator subparcela aninhado no fator parcela. Os níveis do primeiro fator são as plantas individuais e os do segundo fator, os grupos de plantas contíguas. O fator planta (subparcela) é aninhado no fator grupo de plantas (parcela).

b) Material experimental (**Exemplo 5.12**): conjunto de suínos uniformes quanto à idade e demais características individuais que são mantidos durante o período experimental em uma instalação com boxes coletivos também uniformes; características referentes ao ambiente, ao manejo e ao processo de mensuração e registro dos dados homogêneas.

Formação das unidades: Os animais são distribuídos nos boxes coletivos.

Unidade de observação para as variáveis respostas que exprimem características individuais do animal, como peso corporal ao abate e características de carcaça: o animal.

Unidade experimental elementar para um ou mais fatores que possam ser assinalados ao animal individualmente: a unidade de observação, ou seja, o animal e as características do material experimental que lhe correspondem.

Unidade de segunda formação de unidades experimentais: boxe com os animais que lhe são alocados e as correspondentes características do material experimental, que constitui a unidade experimental para um ou mais fatores experimental cujos níveis devam ser alocados a boxes.

Estrutura das unidades: Os animais são as unidades experimentais elementares e são classificados em grupos de animais que são assinalados a boxes para constituírem a segunda formação de unidades experimentais. Então, a estrutura das unidades para variáveis respostas que exprimem características individuais do animal compreende dois fatores: animal e boxe. Os níveis desses fatores são os animais individuais e os boxes, respectivamente. O fator animal é aninhado no fator boxe.

10.3.1.3 Estrutura de unidades de dois fatores cruzada

Há uma variação do material experimental acentuada correspondente a duas características estranhas relevantes cujos níveis se dispõem em duas direções perpendiculares. As unidades de observação correspondem às combinações dos níveis dessas duas características e constituem a formação de unidades experimentais elementares. Essas unidades são classificadas para propósito de controle local duplo segundo os níveis das duas características estranhas, constituindo duas formações de blocos de modo que cada uma dessas unidades se classifica em um bloco de cada uma dessas duas formações. Assim, há três classificações das unidades de observação cujas classes são: as unidades de observação e os blocos de cada uma dessas duas

formações de blocos; as unidades de observação ou unidades experimentais recebem a denominação de **parcelas** e os dois conjuntos de blocos, de **filas** e **colunas**. As parcelas são as combinações das filas e das colunas que são aninhadas no material experimental o que pode ser representado por:

Material experimental \leftarrow (Filas \wedge Colunas).

As combinações das filas e das colunas são os níveis do fator de unidade generalizado que resulta do cruzamento dos fatores de unidade que recebem as designações de **fila** e **coluna**, respectivamente. Isso significa que as parcelas são especificadas pelas definições dos fatores fila e coluna e, portanto, de fato, essa estrutura de unidades compreende apenas os fatores fila e coluna. Os fatores fila e coluna são cruzados.

Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui apresentado na **Figura 10.6**.

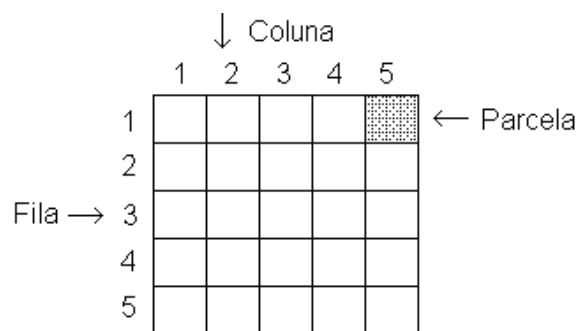


Figura 10.6. Estrutura de unidades cruzada de dois fatores: fila e coluna ambos com 5; os fatores fila e coluna são cruzados; a parcela é a combinação dos níveis desses dois fatores.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por $U \times U'$, onde U e U' denotam os fatores de unidade: fila e coluna, respectivamente, e é representada pelo diagrama da **Figura 10.7**.



Figura 10.7. Diagrama da estrutura de unidades cruzada de dois fatores: U e U' .

Exemplo 10.4

Material experimental: Conjunto de cordeiros de diversas procedências, heterogêneos quanto a hábito alimentar e sistema de criação, e de diversas idades, que são mantidos em um mesmo potreiro durante o período experimental; características homogêneas referentes ao manejo e ao processo de mensuração e registro de dados.

Controle local: Os animais são classificados duplamente segundo as procedências e as idades, constituindo duas formações de blocos; os blocos da primeira formação são as procedências e os da segunda formação, as faixas de idade. Dessa forma a heterogeneidade das características estranhas relevantes referentes aos cordeiros é controlada por controle local duplo.

Unidade de observação para características respostas referentes ao animal: o cordeiro.

Unidade da única formação de unidades experimentais: a própria unidade de observação - o cordeiro com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: Há duas classificações relevantes das unidades de observação (cordeiros): a classificação segundo as procedências e a classificação segundo as idades. Logo, a estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes compreende dois fatores: procedência e idade. Os fatores procedência e idade são cruzados.

10.3.1.4 Estrutura de unidades de três fatores hierárquica

Uma estrutura de unidades hierárquica ou aninhada de três fatores pode resultar de duas formas de relações de fatores de unidade.

1) Há uma variação relevante devida a uma característica estranha que é controlada por controle local simples. As unidades de observação constituem a formação de unidades experimentais elementares e são agrupadas em subconjuntos de unidades para constituírem uma segunda formação de unidades experimentais; então, estas unidades experimentais são agrupadas para o controle local, segundo os níveis da característica estranha relevante. Assim, há três classificações das unidades de observação cujas classes são, respectivamente, as unidades experimentais elementares, as unidades experimentais da segunda formação de unidades experimentais e os grupos ou blocos constituídos para controle local. Essas classes de unidades usualmente recebem as denominações de **subparcelas**, **parcelas** e **blocos**, respectivamente. As subparcelas são aninhadas nas parcelas, as parcelas nos blocos e estes, no material experimental:

Material experimental ← Blocos ← Parcelas ← Subparcelas.

Os três fatores de unidade recebem as designações de **subparcela**, **parcela** e **bloco**; seus níveis são as subparcelas, as parcelas e os blocos, respectivamente. O fator subparcela é aninhado no fator parcela e este, por sua vez, é aninhado no fator bloco. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.8**.

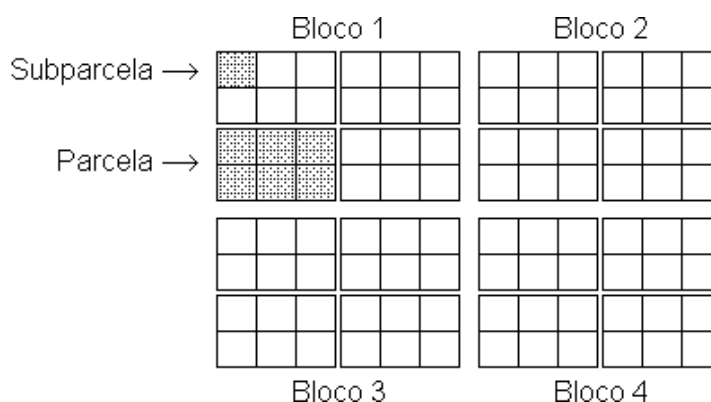


Figura 10.8. Estrutura de unidades hierárquica de três fatores: subparcela, parcela e bloco, respectivamente com 96, 16 e 4 níveis; o fator subparcela é aninhado no fator parcela e este no fator bloco.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por $U'/U/E$, onde E, U e U' denotam, respectivamente, os fatores de unidade: subparcela, parcela e bloco, e é representada pelo diagrama da **Figura 10.9**.

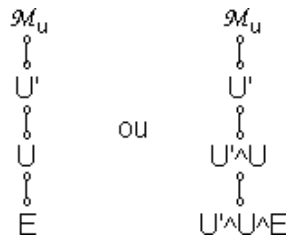


Figura 10.9. Diagrama da estrutura de unidades hierárquica de três fatores E, U e U' com o fator E aninhado no fator U e este no fator U': U'/U/E.

Como na situação de estrutura de unidades hierárquica de dois fatores esta estrutura pode ser conveniente para situações de dois ou mais fatores experimentais em que sejam requeridas duas dimensões de unidades; por exemplo, no caso de dois fatores experimentais em que um dos fatores requeira unidades experimentais de dimensões grandes que possam conter subunidades com os níveis do outro fator experimental.

Essa forma de relação hierárquica de três fatores de unidade é ilustrada pelo **Exemplo 10.5** que considera alterações do material experimental de cada uma das situações ilustradas no **Exemplo 10.3**.

Exemplo 10.5

a) Material experimental: Videiras de um pomar situado em um terreno com declive; demais características descritas no **Exemplo 10.3 a)**.

Controle local: O pomar é dividido para formar blocos segundo as faixas de nível de modo que as características do solo e das plantas de cada bloco sejam suficientemente homogêneas. Essa formação de blocos efetua o controle local da heterogeneidade das características estranhas decorrente do declive do terreno.

Formação das unidades: As plantas são classificadas em grupos de plantas contíguas e esses grupos segundo os blocos.

Unidade de observação para as variáveis respostas que exprimem características referentes à produção de uva: a planta.

Unidade experimental elementar para fatores cujos níveis possam ser assinalados a plantas individuais: a própria unidade de observação, ou seja, a planta com as características do material experimental que lhe correspondem.

Unidade de segunda formação de unidades experimentais: grupo de plantas contíguas com as correspondentes características do material experimental.

Estrutura das unidades: As plantas constituem as unidades experimentais elementares que são classificadas em grupos de plantas contíguas para constituírem a segunda formação de unidades experimentais, e esses grupos de plantas são classificados segundo as faixas de nível para propósito de controle local. Nessas circunstâncias, a estrutura das unidades para variáveis respostas que exprimem características referentes à produção de uva compreende três fatores: planta (subparcela), grupo de plantas contíguas (parcela) e faixa de nível (bloco), com o primeiro fator aninhado no segundo e este, no terceiro. Os níveis desses fatores são, respectivamente, as plantas individuais, os grupos de plantas contíguas e as faixas de nível. O fator planta (subparcela) é aninhado no fator grupo de plantas (parcela) e este, no fator faixa de nível (bloco).

b) Material experimental: Leitões machos heterogêneos quanto à idade que são mantidos durante o período experimental em uma instalação com boxes coletivos com variação ambiental relevante.

Controle local: Os animais são classificados em grupos de animais de idades próximas e os boxes em grupos de boxes próximos. Então, os grupos de animais são assinalados aos grupos de boxes para constituírem os blocos. Dessa forma é efetuado o controle local simples simultâneo das características estranhas relevantes referentes aos animais e aos boxes.

Formação das unidades: Os animais são classificados em grupos de animais que são alocados aos boxes e os boxes são classificados segundo os blocos.

Unidade de observação para as variáveis respostas que exprimem características individuais do animal: o animal.

Unidade experimental elementar: A unidade de observação, isto é, o animal com as características do material experimental que lhe correspondem.

Unidade de segunda formação de unidades experimentais: o boxe e os respectivos animais nele alocados com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: Os animais (subparcelas) são classificados segundo os boxes (parcelas) e esses segundo os blocos. Assim, a estrutura das unidades para as variáveis respostas que exprimem características individuais do animal compreende três fatores: animal, boxe e bloco; os níveis desses fatores são os animais individuais, os boxes e os blocos (de animais e boxes), respectivamente. O fator animal é aninhado no fator boxe que, por sua vez, é aninhado no fator bloco.

2) A variação devida às características estranhas é irrelevante. Portanto, não é demandado controle local. As unidades de observação constituem a formação de unidades experimentais elementares; são agrupadas em subconjuntos de unidades para constituírem uma segunda formação de unidades experimentais e essas unidades experimentais, por sua vez, são agrupadas para constituírem uma terceira formação de unidades experimentais. Assim, há três classificações das unidades de observação; as classes correspondentes são: as unidades experimentais elementares, as unidades da segunda formação de unidades experimentais e as unidades da terceira formação de unidades experimentais. Essas classes de unidades recebem as denominações de **subsubparcela**, **subparcela** e **parcela**, respectivamente. As subsubparcelas são aninhadas nas subparcelas, as subparcelas nos parcelas e estas, no material experimental:

Material experimental ← Parcelas ← Subparcelas ← Subsubparcelas.

Os três fatores de unidade correspondentes a essas três classificações são designados **subsubparcela**, **subparcela** e **parcela**; seus níveis são as subsubparcelas, as subparcelas e as parcelas, respectivamente. O fator subsubparcela é aninhado no fator subparcela e este é aninhado no fator parcela. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.10**.

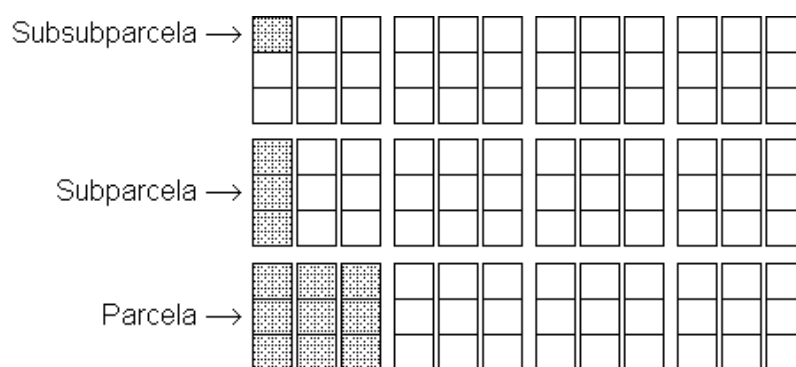


Figura 10.10. Estrutura de unidades hierárquica de três fatores: subsubparcela, subparcela e parcela, respectivamente com 108, 36 e 12 níveis; o fator subsubparcela é aninhado no fator subparcelas e este no fator parcela.

O símbolo dessa estrutura de unidades é o mesmo da estrutura ilustrada na **Figura 10.8**: $U'/U/E$, onde, agora, E , U e U' denotam os fatores de unidade: subsubparcela, subparcela e parcela, respectivamente. O diagrama é o mesmo da **Figura 10.9**. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo **Exemplo 10.6**.

Exemplo 10.6

Material experimental: Sementes de uma cultivar de feijão com características uniformes; terreno cujas características do solo variam consideravelmente com a distância; técnicas homogêneas de cultivo e de mensuração e registro dos dados.

Controle local: O conjunto dos talhões formados para constituírem as unidades elementares é dividido em blocos de forma aproximadamente quadrada com os talhões de cada bloco suficientemente homogêneos quanto às características do solo.

Formação das unidades: Cada um desses blocos é fracionado sucessivamente três vezes para constituição de três formações de unidades experimentais.

Unidade de observação para características respostas relevantes: o talhão.

Unidade experimental elementar: o talhão com as características do material experimental que lhe correspondem.

Unidade de segunda formação de unidades experimentais: conjunto de talhões contíguos com as correspondentes características do material experimental.

Unidade de terceira formação de unidades experimentais: subconjunto de unidades experimentais da segunda formação contíguas com as características do material experimental que lhe correspondem.

Estrutura das unidades: Há quatro classificações das unidades de observação; as classes dessas quatro classificações são as unidades experimentais elementares (subsubparcelas), as unidades da segunda formação de unidades experimentais (subparcelas), as unidades da terceira formação de unidades experimentais (parcelas) e os blocos constituídos para controle local. Portanto, a estrutura das unidades para essas variáveis respostas compreende quatro fatores de unidade: subsubparcela, subparcela, parcela e bloco. O fator subsubparcela é aninhado no fator subparcela, este fator é aninhado no fator parcela e, por sua vez, este fator é aninhado no fator bloco.

Essa estrutura de unidades pode ser conveniente para situações de três ou mais fatores experimentais em que sejam requeridas unidades experimentais de três dimensões diferentes; por exemplo, no caso de três fatores experimentais em que um dos fatores requeira unidades experimentais de dimensões grandes que possam conter subunidades com os níveis de um dos outros dois fatores, e estas subunidades, por sua vez, possam alojar subsubunidades com os níveis do terceiro fator.

10.3.1.5 Estrutura de unidades de quatro fatores mista

Estruturas mistas de mais de três ou mais fatores podem surgir de várias formas de classificações das unidades de observação. Uma delas é considerada a seguir. Há uma variação relevante devida a uma característica estranha que é controlada por controle local simples. As unidades de observação constituem a formação de unidades experimentais elementares. Em cada grupo constituído para controle local as unidades de observação são agrupadas em duas formações de faixas transversais na forma descrita para a estrutura de unidades de dois fatores cruzada. As unidades de observação são as combinações dos níveis dos dois fatores de unidade correspondentes a essas duas formações de faixas transversais. Assim, há três classificações das unidades de observação cujas classes são, respectivamente, os blocos constituídos para propósito de controle local e as faixas de cada uma das duas formações de faixas transversais. Essas classes de unidades pode ser designadas como blocos, faixa 1 e faixa 2, respectivamente. As faixas 1 e as faixas 2 são cruzadas, e ambas são aninhadas nos blocos que, por sua vez, são aninhados no material experimental:

Material experimental ← Blocos ← (Faixas 1 \wedge Faixas 2).

Os três fatores de unidade são designados **bloco**, **faixa 1** e **faixa 2**, respectivamente. Os fatores faixas 1 e faixa 2 são cruzadas e estes dois fatores são ambos aninhados no fator bloco. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.11**.

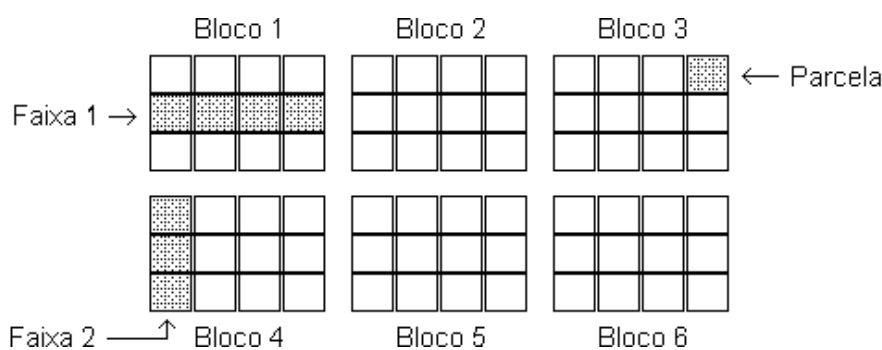


Figura 10.11. Estrutura de unidades mista de três fatores: faixa 1, faixa 2 e bloco, respectivamente com 18, 24 e 6 níveis; os fatores faixa 1 e faixa 2 são cruzados e ambos são aninhados no fator bloco.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por $U''/(U*U')$, onde U, U' e U'' denotam os fatores de unidade: faixa 1, faixa 2 e bloco, respectivamente, e é representada pelo diagrama da **Figura 10.12**.

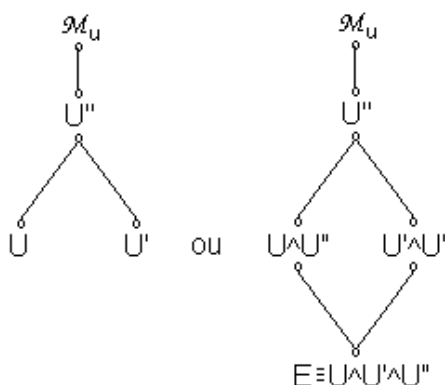


Figura 10.12. Diagrama da estrutura de unidades mista de três fatores: U, U' e U'' com os fatores U e U' são cruzados e ambos aninhados no fator U'': $U''/(U*U')$.

Essa estrutura de unidades pode ser apropriada para situações de dois fatores experimentais que requeiram unidades experimentais de dimensões grandes que possam conter diversas subunidades com os níveis do outro fator experimental e seja necessário controle local da variação entre as unidades de cada uma dessas duas formações de unidades experimentais.

Exemplo 10.7

Material experimental: Sementes de trigo com características homogêneas; terreno plano cujas características do solo variam com a distância; características homogêneas referentes a técnicas de cultivo e ao processo de mensuração e registro de dados.

Controle local: O conjunto dos talhões formados para constituírem as unidades elementares é dividido em blocos aproximadamente quadrados de modo que os talhões de cada bloco sejam suficientemente homogêneos quanto às características do solo.

Formação das unidades: Cada um desses blocos é dividido em faixas paralelamente a cada um de seus lados para a constituição de duas formações de unidades experimentais para alojar dois fatores experimentais que requerem unidades experimentais de dimensões razoavelmente grandes e alongadas.

Unidade de observação para características respostas relevantes: o talhão.

Unidade de primeira formação de unidades experimentais: conjunto de faixas paralelas a um dos lados do bloco com as correspondentes características do material experimental.

Unidade de segunda formação de unidades experimentais: conjunto de faixas paralelas ao outro lado do bloco com as correspondentes características do material experimental.

Estrutura das unidades: As unidades de observação são as intersecções das faixas que constituem as duas formações de unidades experimentais, cada uma dessas duas faixas classifica-se segundo os blocos constituídos para controle local. Assim, há três classificações das unidades de observação; as classes dessas três classificações são as unidades experimentais da primeira formação de unidades experimentais e as unidades experimentais da segunda formação de unidades experimentais, que podem ser designadas faixas 1 e faixas 2, e os blocos. Portanto, a estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes compreende três fatores: faixa 1, faixa 2 e bloco. Os fatores faixa 1 e faixa 2 são cruzados e ambos são aninhados no fator bloco.

Estruturas de unidades de duas ou mais formações de unidades experimentais são úteis para experimentos com dois ou mais fatores experimentais que requeiram unidades experimentais de dimensões ou formatos diferentes. De fato, em alguns experimentos há fatores experimentais que requerem unidades experimentais grandes e outros que podem se alocados em unidades pequenas; ou alguns fatores que requerem unidades compridas e outros que podem ser alojados em unidades compactas. Para economia e uso mais eficiente de material experimental nessas situações pode ser conveniente ter mais de uma formação de unidades experimentais. Por exemplo, métodos de preparo do solo requerem talhões de áreas grandes, pois não é praticável cultivar de modo realista em áreas pequenas. Entretanto, talhões do tamanho requerido para métodos de cultivo do solo seriam extravagantes para cultivares. Assim, para economia de material experimental, em um experimento com esses dois fatores pode ser conveniente uma estrutura de unidades com unidades experimentais do tamanho apropriado para o fator método de preparo do solo e a divisão dessas unidades em subunidades para constituírem as unidades experimentais para o fator cultivar.

Um outro argumento para o uso de estruturas de unidades com mais de uma formação de unidades experimentais é o fato de que a variância do erro experimental referente a subunidades é muito freqüentemente menor do que a variância do erro experimental referente a unidades. Isso implica a conveniência de alocar fatores experimentais mais importantes a subunidades e fatores menos importantes a unidades. Essa consideração pode gerar uma contradição em relação à conveniência da alocação de fatores experimentais a unidades e subunidades, pois freqüentemente fatores experimentais que requerem unidade experimental de dimensões grandes são os fatores mais importantes. Observe-se, entretanto, que a crença geral de que a variância do erro experimental referente a subunidades é menor do que a variância do erro experimental referente a unidades pode não ser justificada. Por exemplo, em um experimento agrícola de campo em terreno com declive com blocos com um de seus lados na direção do declive máximo, em que as parcelas são formadas paralelamente a esse declive, essas parcelas podem resultar muito uniformes. Nessas circunstâncias, se as parcelas são divididas em subparcelas perpendicularmente à direção do declive máximo, as subparcelas podem resultar heterogêneas e consideravelmente mais heterogêneas do que as parcelas.

Todavia, em geral, deve ser esperado que a variância do erro experimental de subparcelas seja menor do que a variância do erro experimental de parcelas. Essa expectativa decorre do fato de que a variância do erro experimental é a variação devida ao erro experimental dividida pelo número de unidades de informação independentes sobre o erro experimental, que é usualmente denominado número de graus de liberdade do erro. E o número de graus de liberdade do erro experimental referente a parcelas é sempre menor que o número de graus de liberdade do erro experimental referente a subparcelas. Por essa razão, em um experimento com dois ou mais fatores experimentais em que um dos fatores seja mais importante será preferível alocar esse fator à subparcela.

Ao cogitar em mais de uma formação de unidades experimentais o pesquisador deve ter em mente que para um mesmo material experimental o erro experimental global é invariável. A redução do erro experimental de um estrato do erro experimental global implica o aumento do erro experimental dos outros estratos. Isso também ocorre com a formação de agrupamentos de unidades para propósito específico de controle local. Quanto mais eficiente é o controle local menor é o erro experimental intrabloco (dentro de blocos) e menor o erro experimental entre blocos.

Algumas estruturas de unidades hierárquicas descritas anteriormente constituem ilustrações do uso dessa estratégia para situações de dois ou mais fatores experimentais. Entretanto, há muitas outras variações que podem ser consideradas. O importante é a compreensão das relações de cruzamento e de aninhamento de fatores de unidades que decorrem das classificações das unidades de observação consideradas pelo controle local. Essas estruturas de unidade são a base de muitos delineamentos experimentais. O pesquisador deve exercer sua experiência e imaginação para derivação da estrutura das unidades mais apropriada para cada experimento particular, levando em consideração a obediência apropriada dos princípios básicos do delineamento experimental. Particularmente, os princípios da ortogonalidade e do balanceamento são geralmente importantes. Isso significa, por exemplo, a conveniência da alocação do mesmo número de unidades de observação a todos os níveis de cada fator de unidade.

10.3.2 Estruturas de unidades de observações múltiplas

Em alguns experimentos a unidade experimental elementar compreende duas ou mais frações do material experimental sobre as quais são efetuadas observações independentes de uma ou mais variáveis respostas. Cada uma dessas frações do material experimental constitui uma unidade de observação para essas variáveis respostas (**Seção 5.5**).

A estrutura das unidades para uma variável resposta é uma **estrutura de unidades de observações múltiplas** se a unidade experimental elementar compreende mais de uma unidade de observação para essa variável resposta.

Assim, estruturas de unidades de observações múltiplas originam-se para variáveis respostas mensuradas em duas ou mais frações da unidade experimental elementar.

As estruturas de unidades de observações múltiplas podem ser consideradas como extensões das estruturas de unidades de observações simples em que a unidade de observação passa a ser a unidade experimental elementar que compreende duas ou mais unidades de observação. Assim, para cada estrutura de unidades de observação simples corresponde uma estrutura de unidades de observações múltiplas, que é gerada pela inclusão de um fator de unidade adicional aninhado em todos os demais fatores de unidade. Isso significa que esse fator é o fator de menor hierarquia da estrutura das unidades. Por exemplo, as estruturas de unidades de observação simples unifatorial, de dois fatores hierárquica e de dois fatores cruzada (**Seção 10.3.1**) geram estruturas de unidades de observações múltiplas de dois e de três fatores hierárquicas e de três fatores mista, respectivamente, que são consideradas a seguir para ilustração.

10.3.2.1 Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica

As unidades de observação são classificadas em subconjuntos de unidades para constituírem as unidades experimentais; por sua vez, esses subconjuntos de unidades constituem uma segunda classificação que corresponde ao material experimental global. As observações em cada unidade experimental são observações em subdivisões desta unidade ou em unidades de uma amostra da unidade experimental.

Nessas circunstâncias, há dois fatores de unidade que recebem as designações de **observação** e **parcela**; os níveis desses fatores são as unidades de observação e as

parcelas. O fator observação é aninhado no fator parcela. Essa estrutura de unidade é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.13**.

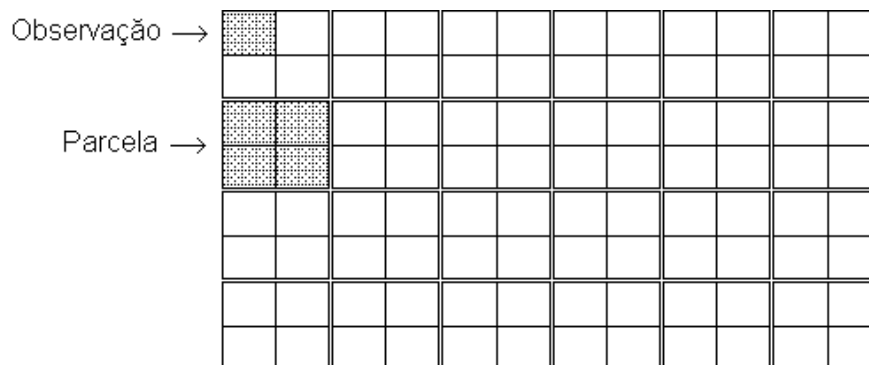


Figura 10.13. Estrutura de unidades de observações múltiplas hierárquica de dois fatores: observação e parcela, respectivamente com 96 e 24 níveis; o fator observação é aninhado no fator parcela.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por U/E, onde E e U denotam os fatores de unidade: observação e parcela, respectivamente, e é representada por diagrama semelhante ao **Figura 10.4**.

O **Exemplo 10.8** provê uma ilustração dessa estrutura de unidades.

Exemplo 10.8

Material experimental: Frangos de corte Isa Brown homogêneos quanto a características genéticas e demais características individuais que são mantidos durante o período experimental em uma instalação com gaiolas com capacidade para dez aves; características referentes ao ambiente, técnicas de manejo e procedimentos de mensuração e registro dos dados essencialmente homogêneas.

Unidade de observação para variáveis respostas que expressam características individuais referentes ao animal como peso corporal e partes da carcaça: o frango.

Unidade experimental: gaiola com 10 aves e correspondentes características do material experimental.

Estrutura das unidades: Há duas classificações relevantes das unidades de observação cujas classes são os animais individuais e as gaiolas. Então, a estrutura das unidades para as variáveis respostas mensuradas individualmente no animal, como peso corporal e peso de partes da carcaça, compreende dois fatores: frango (observação) e gaiola (parcela); os níveis do primeiro fator são os frangos e os níveis do segundo fator, as gaiolas. O fator frango é aninhado no fator gaiola.

10.3.2.2 Estrutura de unidades de três fatores hierárquica

As unidades de observação são classificadas em subconjuntos de unidades que constituem as unidades experimentais e esses subconjuntos de unidades são classificados em blocos segundo os níveis de uma característica estranha relevante; por sua vez, o conjunto desses blocos de unidades constitui o material experimental global.

Essa estrutura de unidades compreende três fatores: observação, parcela e bloco, respectivamente. O fator observação é aninhado no fator parcela e este fator é aninhado no fator bloco. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.14**.

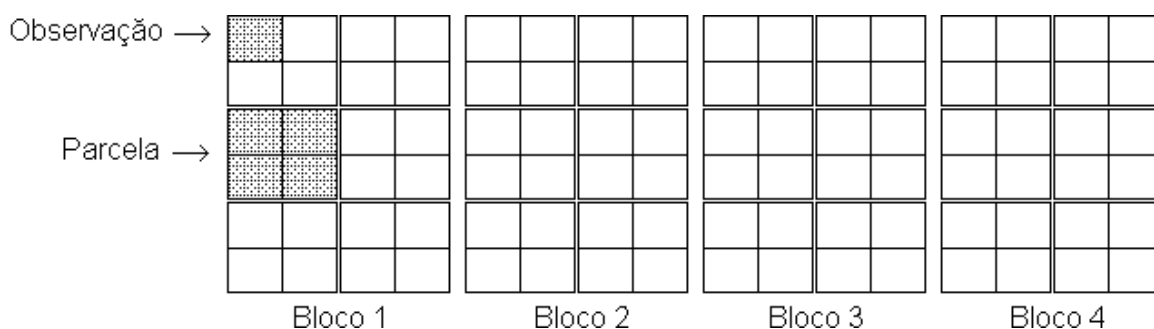


Figura 10.14. Estrutura de unidades de observações múltiplas hierárquica de três fatores: observação, parcela e bloco, respectivamente com 96, 24 e 4 níveis; o fator observação é aninhado no fator parcela e este no fator bloco.

O símbolo dessa estrutura de unidades é $U'/U/E$, onde E, U e U' denotam, respectivamente, os fatores de unidade: observação, parcela e bloco; seu diagrama é o mesmo apresentado na **Figura 10.9**.

O **Exemplo 10.9** apresenta uma ilustração dessa estrutura de unidades.

Exemplo 10.9

Material experimental: Plantas de um pomar macieiras em terreno com declive que são dispostas em linhas duplas com cada par de linhas em uma mesma faixa de nível.

Controle local: As plantas são classificadas em blocos de duas linhas contíguas em uma mesma faixa de nível para controle da heterogeneidade das características do material experimental decorrente do declive do solo.

Unidade de observação para variáveis respostas referentes à produção de frutos: a planta.

Unidade experimental: Grupo de quatro plantas contíguas, duas de cada uma das duas linhas de um mesmo bloco, com as correspondentes características do material experimental.

Estrutura das unidades: Compreende três fatores: planta (observação), conjunto de quatro plantas (parcela) e bloco. O fator planta é aninhado no fator grupo de plantas (parcela) e este fator no fator bloco.

10.3.2.3 Estrutura de unidades de três fatores mista

As unidades de observação são classificadas em grupos que constituem as unidades experimentais e estas unidades são classificadas para propósito de controle local duplo segundo os níveis de duas características estranhas, constituindo duas formações de blocos de modo que cada uma das unidades experimentais se classifica em um bloco de cada uma dessas duas formações.

Portanto, há quatro classificações das unidades de observação cujas classes são: as unidades de observação, as unidades experimentais e os blocos de cada uma dessas duas formações de blocos; as unidades de observação recebem a denominação de **observações** e as duas formações de blocos, de **filas** e **colunas**. As unidades experimentais (parcelas) são as combinações das filas e das colunas, ou seja, os níveis do fator generalizado $\text{fila} \wedge \text{coluna}$; portanto, elas são determinadas pelas especificações das filas e das colunas. Isso significa que as observações são aninhadas nas filas e nas colunas, cada uma das quais constitui o material experimental global.

Assim, essa estrutura de unidades compreende três fatores que recebem as designações de **observação**, **fila** e **coluna**. O fator observação é aninhado nos fatores fila e coluna que são cruzados.

Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.15**.

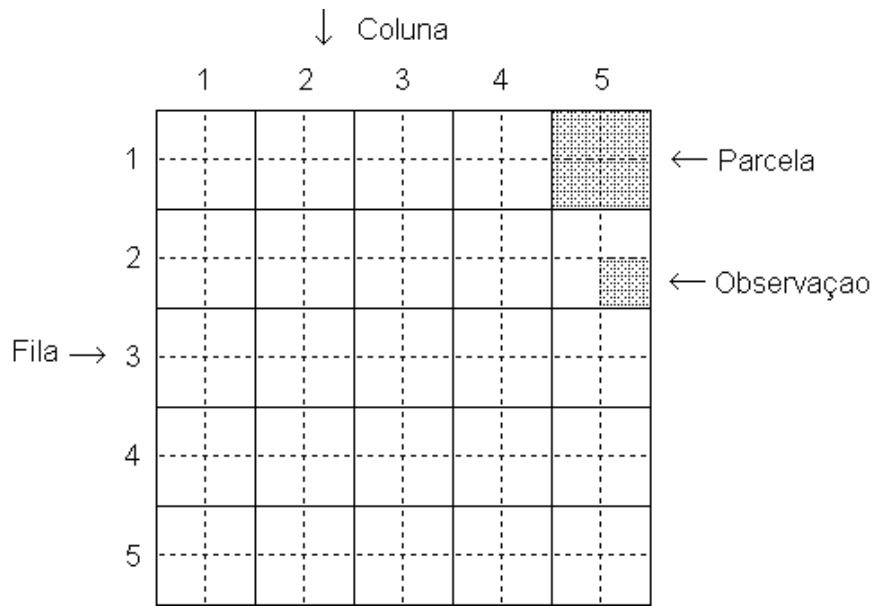


Figura 10.15. Estrutura de unidades de observações múltiplas mista de três fatores: observação, fila e coluna, respectivamente 100, 5 e 5 níveis; o fator observação é aninhado nos fatores fila e coluna que são cruzados.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por $(U*U')/E$, onde E, U e U' denotam os fatores observação, fila e coluna, respectivamente, e é representada pelo diagrama da **Figura 10.16**.

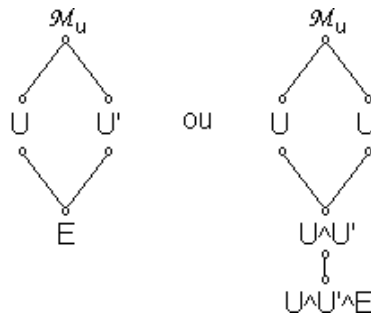


Figura 10.16. Diagrama de estrutura de unidades de observações múltiplas mista de três fatores: E, U e U' com o fator E aninhado nos fatores U e U' que são cruzados: $(U*U')/E$.

Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo **Exemplo 10.10** com uma alteração do material experimental considerado no **Exemplo 10.4**.

Exemplo 10.10

Material experimental: Compreende dois cordeiros de cada uma das combinações de procedências e de faixas de idades; as demais características são semelhantes às definidas no **Exemplo 10.4**.

Controle local: Os animais são classificados duplamente segundo as procedências e as idades, constituindo duas formações de blocos; os blocos da primeira formação são as procedências e os da segunda formação, as faixas de idade.

Unidade de observação para características respostas referentes ao animal: o cordeiro.

Unidade da única formação de unidades experimentais: dois cordeiros de uma mesma faixa de idade e procedência com as características do material experimental que lhes correspondem.

Estrutura das unidades: Há três classificações relevantes das unidades de observação (cordeiros): a classificação para a formação das unidades experimentais e as classificações segundo as procedências e as faixas de idade. Logo, a estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes compreende três fatores: cordeiro (observação), procedência e idade. O fator parcela é aninhado nos fatores procedência e idade que são cruzados.

10.3.3 Estruturas de unidades de observações repetidas

Em alguns experimentos uma ou mais variáveis respostas são mensuradas em dois ou mais instantes do período experimental sobre cada unidade experimental elementar ou sobre cada unidade de observação básica.

A estrutura das unidades para uma variável resposta é uma **estrutura de unidades de observações repetidas** se essa variável resposta é mensurada em cada unidade de observação básica em dois ou mais instantes de um intervalo de tempo.

As estruturas de unidades de observações repetidas são extensões das estruturas de unidades de observação simples em que a unidade experimental compreende duas ou mais unidades de observação correspondentes a dois ou mais instantes de um intervalo de tempo. Essas observações repetidas constituem os níveis de um fator de unidade adicional que pode receber a designação genérica de **tempo** e seus níveis, de instantes. Esse fator é cruzado com todos os demais fatores da estrutura das unidades.

Assim, para cada uma das estruturas de unidades de observação simples corresponde uma estrutura de unidades de observações repetidas, que é gerada pela inclusão de um fator de unidade cruzado com todos os demais fatores de unidade. Por exemplo, uma estrutura de observação simples unifatorial gera uma estrutura de observações repetidas cruzada de dois fatores; uma estrutura de observações simples de dois fatores hierárquica gera uma estrutura de observações repetidas mista de três fatores. Essas estruturas de unidades são consideradas a seguir para ilustração.

10.3.3.1 Estrutura de unidades de dois fatores cruzada

Uma estrutura de unidades de observações repetidas de dois fatores cruzada é gerada de uma estrutura de observação simples unifatorial para variáveis respostas mensuradas em cada unidade experimental em mais de um instante. Essa estrutura de unidades corresponde à situação em que a variação das características estranhas do material experimental é irrelevante e são efetuadas mensurações sucessivas sobre cada unidade experimental em diversos instantes do período experimental. Então, as unidades de observação sobre as quais são efetuadas essas mensurações individuais são classificadas duplamente segundo as unidades experimentais e segundo os instantes de mensuração, mas não há classificações para controle local. Assim, as unidades de observação são as combinações das unidades experimentais ou parcelas e dos instantes de mensuração, e as unidades experimentais são cruzadas com os instantes de mensuração.

Portanto, essa estrutura de unidades compreende dois fatores: **parcela** e **tempo**, cujos níveis são, respectivamente, as parcelas e os instantes de mensuração. Esses dois fatores são cruzados, já que em cada um dos instantes são mensuradas todas as parcelas e cada parcela é mensurada em todos os instantes. Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo croqui da **Figura 10.17**.

↓ Parcela

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	24
Instante →	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											

Figura 10.17. Estrutura de unidades de observações repetidas cruzada de dois fatores: parcela e instante, respectivamente com 24 e 6 níveis.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por $E \times R$, onde E e R denotam os fatores de unidade: parcela (unidade experimental) e tempo, respectivamente; e é representada pelo diagrama da **Figura 10.18**.

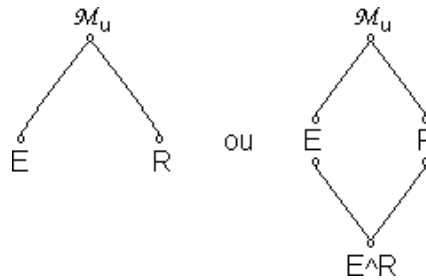


Figura 10.18. Diagrama da estrutura de unidades cruzada de observações repetidas de dois fatores E e R: $E \times R$.

Essa estrutura de unidades é ilustrada no **Exemplo 10.11** que considera as duas situações de material experimental descritas no **Exemplo 10.1**.

Exemplo 10.11

a) Em um experimento com material experimental descrito no **Exemplo 10.1 b)** são efetuadas mensurações do peso corporal dos animais a cada quatorze dias durante o período experimental. Então, a estrutura das unidades para essa variável resposta compreende o fator adicional tempo cujos níveis são esses instantes de mensuração. Logo, há dois fatores de unidade cruzados: cordeiro (parcela) e tempo.

b) Em um experimento com material experimental descrito no **Exemplo 10.1 c)** o peso da produção de frutos e o número de frutos são registrados em diversas safras sobre as mesmas plantas. Nessas circunstâncias, a estrutura das unidades para essas duas variáveis respostas compreende dois fatores cruzados: planta (parcela) e safra.

10.3.3.2 Estrutura de três fatores mista

Uma estrutura de unidades de observações repetidas mista de três fatores pode resultar de diversas formas de relações de fatores de unidade. Duas dessas formas são as extensões descritas a seguir das estruturas de unidades de observações simples de dois fatores hierárquicas caracterizadas anteriormente.

1) As unidades de observação (parcelas) são classificadas em grupos (blocos) segundo os níveis de uma característica estranha relevante para propósito de controle local e são efetuadas observações repetidas sobre cada uma dessas unidades. Dessa forma, as parcelas são aninhadas nos blocos e cruzadas com os instantes de mensuração. Portanto, há três fatores de unidade: **parcela**, **bloco** e **tempo**, cujos níveis

são as parcelas, os blocos e os instantes de mensuração. O fator parcela é aninhado no fator bloco e esses dois fatores são cruzados com o fator tempo.

Essa estrutura de unidades é simbolizada por $(U/E)*R$, onde E, U e R denotam os fatores de unidade: parcela, bloco e instante de mensuração, respectivamente, e é representada pelo diagrama da **Figura 10.19** onde m denota o material experimental.

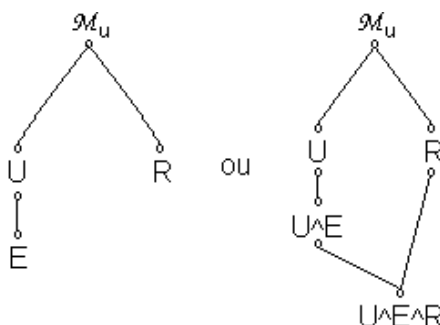


Figura 10.19. Diagrama da estrutura de unidades de observações repetidas mista de três fatores E, U e R, onde E é aninhado no fator U e estes dois fatores são ambos cruzados com o fator R: $(U/E)*R$.

Essa estrutura de unidades é ilustrada pelo **Exemplo 10.12** que considera uma variável resposta com observações repetidas de um experimento com a estrutura de unidades do **Exemplo 10.2 a**).

Exemplo 10.12

Em um experimento com material experimental descrito no **Exemplo 10.2 a**) o peso corporal dos animais é mensurado a cada quinze dias do período experimental. Assim, para essa variável resposta há o fator de unidades adicional tempo cujos níveis são os instantes de mensuração. Então, a estrutura das unidades para essa variável resposta compreende três fatores de unidade: cordeiro (parcela), idade (bloco) e tempo. O fator cordeiro é aninhado no fator idade e estes dois fatores são cruzados com o fator instante.

2) O material experimental é uniforme quanto à composição de características estranhas; a unidade experimental elementar compreende mais de uma unidade de observação e sobre cada uma destas unidades são procedidas observações sucessivas em diversos instantes de um intervalo de tempo.

Assim, essa estrutura de unidades compreende três fatores: observação, parcela e tempo. O fator observação é aninhado no fator parcela e estes fatores são ambos cruzados com o fator tempo. Essa estrutura de unidades também é simbolizada por $(U/E)*R$, onde, agora, E, U e R denotam os fatores de unidade: observação, parcela e tempo, respectivamente. O diagrama dessa estrutura de unidades é o mesmo da **Figura 10.19**.

O **Exemplo 10.13** provê uma ilustração dessa estrutura de unidades com a consideração de uma variável com observação repetida do experimento do **Exemplo 10.3 b**).

Exemplo 10.13

Suponha-se que a variável resposta peso corporal do experimento sobre o efeito da formulação da ração e da administração de anabolizante em suínos (**Exemplo 10.3**) é mensurada a cada quinze dias do período experimental. Assim, a estrutura das unidades para essa variável resposta tem um fator adicional: tempo cujos níveis são os instantes de mensuração a cada 15 dias do período experimental. Então, a estrutura das unidades para peso corporal compreende três fatores: animal e boxe, que constituem duas formações de unidades experimentais, e tempo. O fator animal é aninhado no fator boxe e esses dois fatores são cruzados com o fator tempo.

10.4 Estruturas das Unidades de Experimentos de Abrangência Ampla

Estruturas de unidades de experimentos de abrangência ampla são essencialmente estruturas de unidades de experimentos de abrangência restrita repetidas em diversas seções de um espaço ou de um intervalo de tempo, ou de ambos espaço e intervalo de tempo.

Essas estruturas de unidades repetidas no espaço constituem-se naturalmente de unidades de observação diferentes. Estruturas repetidas no tempo podem compreender as mesmas unidades de observação ou unidades de observação diferentes. Estruturas repetidas no tempo podem constituir-se das mesmas unidades de observação ou de unidades de observação diferentes. Estruturas repetidas sob as mesmas unidades de observação são as estruturas de unidades de observações repetidas consideradas na **Seção 10.3.3**. Estruturas repetidas tanto no espaço como no tempo são combinações dessas duas situações.

Assim, estruturas de unidades de experimentos de abrangência ampla são estruturas de unidades de experimentos de abrangência restrita repetidas com unidades de observação diferentes no espaço, no tempo ou em ambos espaço e tempo. Essas estruturas são caracterizadas a seguir.

Estruturas de unidades de abrangência ampla no espaço

Uma estrutura de unidades de abrangência ampla no espaço é gerada de uma estrutura de unidades de abrangência restrita (euar) pela adição de um ou mais fatores que exprimem a disposição das unidades no espaço cruzados com todos os fatores da estrutura de abrangência restrita. Por exemplo, uma estrutura de unidades unifatorial com fator E repetida em diversos locais de uma região é uma estrutura de unidades cruzada de dois fatores observação (E) e local (L). Essas estruturas de unidades são representadas pelos diagramas de Hasse da **Figura 10.20**.

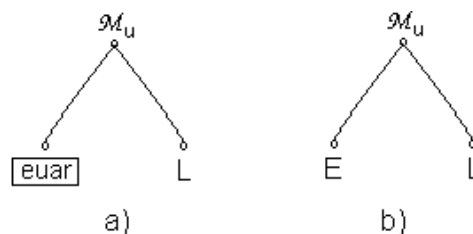


Figura 10.20. Diagramas de estruturas de unidade de abrangência ampla no espaço (a) e estrutura de unidades de experimento repetido em diversos locais (b).

Estruturas de unidades de abrangência ampla no tempo

Essa estrutura de unidades é gerada de uma estrutura de unidades de abrangência restrita (euar) pela adição de um ou mais fatores cruzados com todos os fatores da estrutura de abrangência restrita. Por exemplo, uma estrutura de unidades unifatorial com fator E repetida em diversos anos de um intervalo de anos é uma estrutura de unidades cruzada de dois fatores: observação (E) e ano (A). Essas estruturas de unidade são representadas por diagramas semelhantes aos da **Figura 10.20**.

Estruturas de unidades de abrangência ampla no espaço e no tempo

Essa estrutura de unidades é gerada de uma estrutura de unidades de abrangência restrita pela inclusão dos fatores que expressam a distribuição das unidades no espaço e no tempo que são cruzados com todos os fatores da estrutura de abrangência restrita. Por exemplo, uma estrutura de unidades unifatorial repetida em diversos locais de uma

região e por diversos anos de um intervalo de anos é uma estrutura de unidades cruzada de três fatores: observação (E), local (L) e ano (A). Essas estruturas de unidades são representada pelos diagramas da **Figura 10.21**.

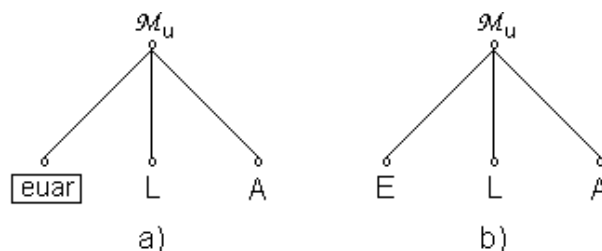


Figura 10.21. Diagramas das estruturas de unidades de experimentos de abrangência ampla no espaço e no tempo: a) genérica; b) estrutura de abrangência restrita unifatorial (L: local, fator A: ano, E: observação).

O **Exemplo 10.14** provê ilustrações dessas estruturas.

Exemplo 10.14

a) Suponha-se que o experimento considerado no **Exemplo 10.1 b)** é repetido em diversos locais. Nessas circunstâncias, o controle local deve levar com conta a classificação das unidades de observação (cordeiros) segundo os locais e a classificação dos locais para constituir o material experimental global que abrange o conjunto dos locais. Por conseqüência, resulta um fator de unidade adicional ao fator parcela (cordeiro): o fator local cujos níveis são os locais individuais. O fator parcela é aninhado no fator local.

b) Se que o experimento do **Exemplo 10.1 b)** é repetido em diversos anos em um único local, deve ser considerada a classificação das unidades de observação segundo os anos, o que significa a presença de dois fatores de unidade: parcela e ano, com o primeiro fator aninhado no segundo.

c) Se aquele experimento é repetido em diversos locais e em cada local por dois ou mais anos, devem ser consideradas duas classificações relevantes das unidades de observação: a classificação segundo os locais e a classificação segundo os anos. Nessa situação há três fatores de unidade: parcela, local e ano; o fator parcela é aninhado em cada um dos fatores local e ano e estes fatores são cruzados.

Exercícios 10.1

1. Explique as origens possíveis da estruturação das unidades de observação em um experimento.
2. Porque agrupamentos relevantes das unidades de observação devem ser levados em conta na especificação da estrutura do experimento?
3. Liste as origens dos agrupamentos ou classificações das unidades de observação que devem ser considerados na especificação da estrutura das unidades.
4. Geralmente, para um fator experimental intrínseco há sempre um fator de unidade associado. Qual é a distinção essencial entre um fator experimental intrínseco e o correspondente fator de unidade?
5. Caracterize e ilustre com um exemplo de sua área a estrutura de unidades mais simples.
6. Em que situação ocorre uma estrutura de dois fatores de unidade cruzada? Ilustre com um exemplo de sua área.
7. Explique porque em experimentos de ampla abrangência é importante a consideração da classificação das unidades de observação segundo suas disposições espacial e temporal.
8. Explique em que situações podem resultar uma estrutura de dois fatores de unidade mista.
9. O que significa unidade experimental elementar?

10. Um pesquisador tem disponível quatro áreas com quatro diferentes cultivares de pessegueiro de mesma idade, uma cultivar em cada área. Cada uma dessas áreas consiste de doze talhões cada um com uma planta, dispostos em três linhas de quatro talhões. Ele aplica três níveis de fertilizante às três linhas de cada uma das quatro áreas, um nível a cada linha, por processo de sorteio separado e independente para cada uma das áreas, e, então, aplica quatro níveis de desbaste de frutos às quatro plantas de cada uma das doze linhas, por sorteio efetuado separada e independentemente para cada uma das linhas. Identifique e caracterize os agrupamentos das unidades de observação (plantas) que foram considerados como restrições a casualização na atribuição dos tratamentos a essas unidades.

10.5 Estrutura do Experimento ou Delineamento Experimental

O delineamento do experimento compreende:

- 1) a especificação das variáveis respostas;
- 2) a especificação da estrutura das condições experimentais;
- 3) a especificação da estrutura das unidades de observação;
- 4) a escolha da relação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades.

A relação ou associação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades é estabelecida pela atribuição dos níveis dos fatores de tratamento e a manifestação dos níveis dos fatores intrínsecos nas unidades do material experimental.

A associação entre a estrutura das condições experimentais e a estrutura das unidades determinada pela casualização dos níveis de fatores de tratamento e a manifestação dos níveis de fatores intrínsecos estabelece a **estrutura do experimento** ou **delineamento do experimento**.

A geração da estrutura do experimento ou delineamento do experimento é ilustrada pela **Figura 10.22**.



Figura 10.22. O delineamento experimental é gerado pela associação da estrutural das condições experimentais e da estrutura das unidades determinada pela casualização.

A casualização estabelece uma relação de correspondência entre os níveis dos fatores experimentais e os níveis dos fatores de unidade.

Os níveis de um fator de unidade são as **unidades experimentais** para o fator experimental com cujos níveis estão associados na estrutura do experimento.

Mais genericamente, uma fração do material experimental é a unidade experimental para a condição experimental com a qual se associa na estrutura do experimento.

A estrutura das unidades decompõe ou estratifica o erro experimental (global) em tantos estratos quantos são os fatores de unidade.

A fração do erro experimental global correspondente a um fator de unidade constitui um **estrato do erro experimental**.

Assim, a estrutura do experimento estabelece uma estrutura correspondente do erro experimental. A consideração da estrutura do erro experimental é altamente relevante nas inferências derivadas do experimento.

Em geral, o erro experimental que afeta inferências referentes a um efeito de fatores experimentais é uma fração do erro experimental global composta por um subconjunto de seus estratos. Esse erro experimental pode variar com as inferências particulares.

O erro experimental que afeta inferências referentes a um fator experimental é a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades experimentais para esse fator que é atribuível às características estranhas que não são controladas por controle local e por controle estatístico.

De modo mais geral, a variação devida a características estranhas não controladas que fica confundida com um efeito de fatores experimentais constitui o erro experimental que afeta as inferências referentes a esse efeito.

Em particular, em um experimento com um único fator experimental em que não é efetuado controle da variação atribuível a características estranhas, o erro experimental para inferências referentes a esse fator é a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades experimentais dentro dos níveis desse fator.

É conveniente que o planejamento da estrutura das condições experimentais e o planejamento da estrutura das unidades sejam procedidos separadamente. Uma estratégia para esse planejamento foi considerada na **Seção 6.2**. Em princípio, o pesquisador deve planejar a estrutura das condições mais apropriada para os objetivos estabelecidos para o experimento e, então, planejar a estrutura das unidades mais apropriada para a consecução desses objetivos. Restrições do material experimental podem demandar revisão dos objetivos do experimento que implique alteração da estrutura das condições experimentais que possa ser acomodada em estrutura das unidades satisfatória para esses objetivos e viável.

Os planejamentos da estrutura das condições experimentais e da estrutura das unidades foram tratados nas **Seções 8.7 e 10.2**.

Uma coleção consideravelmente grande de delineamentos experimentais pode resultar das combinações das variadas formas dessas duas estruturas. Os delineamentos experimentais mais usuais podem ser classificados em famílias de delineamentos. Esse fato é muito importante, pois os procedimentos de inferência estatística são semelhantes para delineamentos com mesma estrutura.

A designação completa de famílias de delineamentos e de delineamentos experimentais particulares deve compreender as designações das correspondentes estruturas de fatores experimentais e de fatores de unidade. Alguns delineamentos são caracterizados a seguir, classificados segundo as estruturas de unidades que os geram.

10.6 Delineamentos para Estruturas de Condições Experimentais Unifatoriais

A caracterização e representação de estruturas de condições experimentais unifatoriais foi apresentada na **Seção 8.7.3**. Essas estruturas foram amplamente ilustradas nas **Seções 8.2, 8.3 e 8.4**.

Por definição, o único fator de uma estrutura de condições experimentais unifatorial é um fator de tratamento. Portanto, o delineamento com essa estrutura de condições experimentais compreende uma única formação de unidades experimentais.

Estruturas de condições experimentais unifatoriais podem ser associadas a uma ampla gama de estruturas de unidades de observações simples:

- Estrutura de unidades unifatorial,

- Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica,
- Estrutura de unidades de dois fatores cruzada,
- Estrutura de unidades de três fatores mista

10.6.1 Estrutura de unidades unifatorial

A estrutura de unidades unifatorial foi definida e ilustrada na **Seção 10.3.1.1**. Essa estrutura é representada simbolicamente por E, que denota o único fator: parcela. Suas representações através de croqui e diagrama de Hasse são apresentadas na **Figura 10.1** e na **Figura 10.2**, respectivamente.

Casualização

Como essa estrutura de unidades não compreende controle local, não há qualquer restrição à casualização; os tratamentos são atribuídos às parcelas completamente ao acaso. Por essa razão, essa estrutura de experimento é usualmente denominada **delineamento completamente casualizado**.

A casualização consiste em associar as parcelas aos tratamentos por algum procedimento que atribua a todas as parcelas a mesma probabilidade de alocação a qualquer dos tratamentos e garanta para os tratamentos os número de repetições que lhes foram atribuídos. Essa propriedade pode ser lograda por processo de sorteio objetivo e isento; por exemplo, pela extração de quadradinhos de papel ou de peças numeradas dispostos em um recipiente, uso de tabelas de dígitos ou números aleatórios, como a **Tabela 1** do **Apêndice**, ou uso de recursos de programas e pacotes de computação estatística (**Seção 9.7.1**).

A **Figura 10.23** ilustra a geração do delineamento completamente casualizado para estrutura de condições experimentais com um fator A com 5 tratamentos: A_1, A_2, A_3, A_4 e A_5 e 4 repetições de cada tratamento. A casualização pode ser procedida como segue:

Passo 1. Identificam-se arbitrariamente os tratamentos; por exemplo, com os números inteiros de 1 a 5 que lhes servem de subscrito (**Figura 10.23a**). Representam-se as unidades experimentais por um croqui, se elas têm disposição espacial, ou uma lista. Então, identificam-se as unidades experimentais arbitrariamente, através dos números inteiros de 1 a 20 (**Figura 10.23b**).

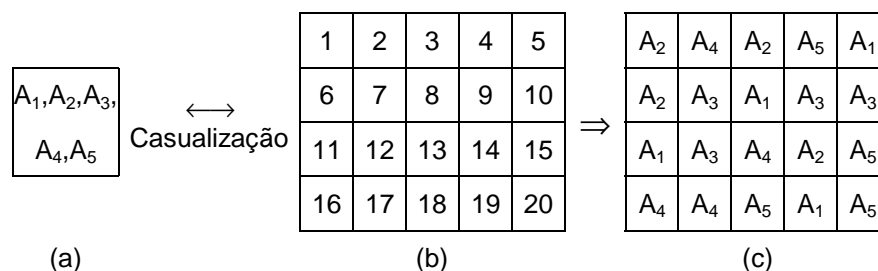


Figura 10.23. Geração de delineamento completamente casualizado com 5 tratamentos: A_1, A_2, A_3, A_4 e A_5 e 4 repetições de cada tratamento.

Passo 2. Sorteiam-se 5 subconjuntos de 4 números dos números inteiros de 1 a 20 através da extração sucessiva destes números sem reposição. Suponha-se que desse processo de sorteio tenha resultado a seguinte seqüência de números: (5-8-11-19)-(1-6-14-3)-(7-10-12-9)-(17-2-13-16)-(18-4-15-20). Então, assinalam-se as unidades 5, 8, 11 e 19 ao tratamento A_1 ; as unidades 1, 6, 14 e 3 ao tratamento A_2 ; as unidades 7, 10, 12 e 9 ao tratamentos A_3 ; as 17, 2, 13 e 16 ao tratamento A_4 ; e, finalmente, as unidades 18, 4, 15 e 20 ao tratamento A_5 . A distribuição dos tratamentos nas unidades resultante da casualização é apresentada na **Figura 10.23c**.

Estrutura do experimento

A casualização associa os níveis do fator de unidade E aos níveis do fator experimental A, gerando o fator generalizado $A^{\wedge}E$. Portanto, os níveis do fator de unidade E são as unidades experimentais para o fator experimental A. Essa associação assinala níveis diferentes do fator E para níveis distintos do fator A, o que significa que ela estabelece relação hierárquica entre os fatores A e E em que A é fator ninho e E fator aninhado. Assim, a estrutura do experimento é simbolizada por A/E .

Os diagramas de Hasse correspondentes à estrutura das condições experimentais, à estrutura das unidades e à estrutura do experimento são apresentados na **Figura 10.24**. Nos diagramas da estrutura do experimento o símbolo M representa o conjunto das características explanatórias (fatores experimentais) e das características estranhas do material experimental. A seta tracejada de dois sentidos indica a associação entre os níveis do fator de unidade E e os níveis do fator experimental A, e salienta que os níveis do fator de unidade E são as unidades experimentais para o fator experimental A.

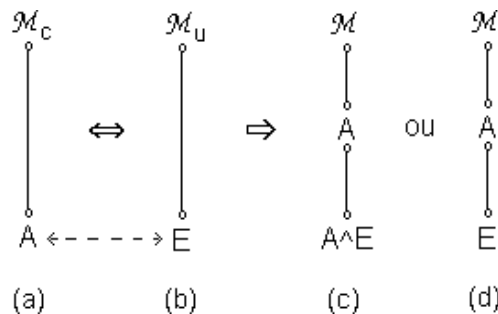


Figura 10.24. Diagrama do delineamento completamente casualizado (c,d) gerado por estrutura de condições experimentais unifatorial A (a) e estrutura de unidades unifatorial E (b) simbolizado por A/E .

Cada nó do diagrama da estrutura das unidades representa um estrato do erro experimental. Particularmente, nós correspondentes a fatores de unidade associados a fatores experimentais representam estratos referentes aos componentes do erro experimental que afetam os efeitos dos fatores experimentais. No presente caso, o único nó da estrutura do experimento representa o único estrato do erro experimental, que corresponde ao fator de unidade E (**Figura 10.24b**). Esse fator de unidade E está associado ao fator experimental A. Essa associação gera o fator generalizado $A^{\wedge}E$, que é aninhado no fator A (**Figura 10.24c**). Isso implica que a variação dos valores observados da variável resposta nas unidades experimentais compreenda dois componentes: a) variação entre unidades com níveis diferentes do fator A, ou seja, com tratamentos diferentes, que compreende variação devida ao fator experimental A e às características estranhas confundidas com A; b) variação entre unidades (níveis do fator E) com mesmo nível do fator A, isto é, com um mesmo tratamento, que compreende apenas variação devida a características estranhas. Esse último componente é o erro experimental que afeta os efeitos do fator experimental A.

O delineamento completamente casualizado compreende um único estrato do erro experimental que corresponde ao único fator de unidade E. Se esse erro experimental é pequeno relativamente à grandeza da variação atribuível ao fator experimental A, resulta precisão elevada para as inferências referentes a efeitos de tratamentos.

A propriedade da ortogonalidade não tem sentido para esse delineamento, já que ele compreende apenas um fator experimental e um fator de unidade cujos níveis são as unidades elementares do material experimental. A propriedade do balanceamento depende dos números de repetições dos tratamentos: o delineamento completamente

casualizado é balanceado se e somente se o número de repetições é o mesmo para todos os tratamentos.

Caracterização e usos do delineamento

O delineamento completamente casualizado é o mais simples dos delineamentos experimentais. É o único delineamento que não impõe controle local. A casualização irrestrita também deve ser adotada na implementação de técnicas experimentais que possam afetar diferenças de efeitos dos tratamentos.

Este delineamento é adequado para situações em que o material experimental seja considerado como essencialmente homogêneo quanto às características estranhas para o nível de precisão desejado para as inferências. Isso significa expectativa de contribuição individual irrelevante das características estranhas para a variação da resposta. Através da casualização, essas características estranhas são casualizadas, o que permite estimação não tendenciosa das diferenças de efeitos de tratamentos e da variância que afeta esses efeitos.

Assim, o delineamento completamente casualizado pode ser apropriado para experimentos em ambientes controlados, como laboratório, estufa e casa de vegetação. Especialmente quando as características estranhas relevantes do material essencialmente possam ser homogeneizadas por técnicas experimentais. Por exemplo, essas circunstâncias ocorrem quando: a) uma quantidade de material é bem misturada e então dividida em pequenas porções para formar as unidades experimentais que permanecem em ambiente uniforme e são submetidas a técnicas experimentais essencialmente homogêneas; b) o material a que são aplicados os tratamentos fica em recipientes (lâminas, placas, vasos, caixas, etc.) cuja posição é mudada periodicamente, completamente ao acaso, de modo que, ao longo do experimento, sejam logradas condições essencialmente homogêneas para o conjunto das unidades experimentais.

Condições semelhantes de homogeneidade das características estranhas ocorrem em experimentos com animais que constituem plantel uniforme, quando os tratamentos são aplicados individualmente aos animais e todos os animais são mantidos juntos, em um mesmo ambiente, durante o período experimental. Também podem ser logradas em experimentos com plantas perenes adultas em que a porção preponderante da heterogeneidade atribuível às características estranhas do material experimental se manifesta através do vigor das plantas e o experimento é conduzido sobre um conjunto de plantas de vigor semelhante. Nesse caso o delineamento completamente casualizado pode ser apropriado principalmente quando a unidade experimental é constituída de uma única planta e há possibilidades de perda de parte das unidades.

O delineamento completamente casualizado geralmente não é recomendável para experimentos agrícolas de campo. Isso porque freqüentemente um terreno de aparência uniforme revela-se heterogêneo quanto às características do solo. Assim, na ausência de informação segura sobre a uniformidade do solo onde o experimento vai ser conduzido, é conveniente impor controle local com base na experiência com solos semelhantes.

Esse delineamento pode constituir escolha apropriada para experimentos em áreas novas de pesquisa, quando as características estranhas que possam afetar respostas de interesse são desconhecidas, e para experimentos com pequeno número de unidades experimentais, dado que é o delineamento que proporciona o número de graus de liberdade mais elevado para a estimativa da variância do erro experimental. O uso do delineamento completamente casualizado também deve ser cogitado para experimentos em que uma fração considerável das unidades experimentais possa ser destruída ou prejudicada.

O uso do delineamento completamente casualizado é ilustrado pelos experimentos descritos no **Exemplo 10.15** que consideram as estruturas de unidades ilustradas no **Exemplo 10.1**.

Exemplo 10.15

a) Experimento: "Efeito da deficiência de cobre sobre o desenvolvimento da planta de milho" com um fator experimental: cobre com 5 níveis na amostra correspondentes a 4 teores de cobre diferentes e ausência de cobre (**Exemplo 10.1a**).

Procedimento: O experimento é conduzido em casa de vegetação e a solução nutritiva completa, exceto pelo teor de cobre, é distribuída em 30 recipientes. Cada uma das 5 doses de cobre é assinalada a 6 desses recipientes e, então, os recipientes são alocados a 30 posições de uma bancada dessa casa de vegetação.

Estrutura das condições experimentais: unifatorial; fator A: cobre, com 5 níveis: doses de cobre.

Estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes: unifatorial com o fator E: parcela ou recipiente.

Casualização: A inexistência de controle local significa que não há imposição de qualquer restrição à casualização. Portanto, os 30 recipientes correspondentes às 5 repetições de cada um dos 5 tratamentos são atribuídos às 30 posições da bancada da casa de vegetação de modo completamente aleatório.

Estrutura do experimento: A/E, onde A simboliza o fator experimental cobre e E, o fator de unidade recipiente.

b) Experimento: "Pesquisa do efeito de anabolizante sobre o desenvolvimento corporal de cordeiros machos da raça Corriedale" com um fator experimental: anabolizante Stilbestrol com quatro doses (**Exemplo 10.1b**).

Procedimento: O experimento é conduzido com 24 animais homogêneos que permanecem em um mesmo potreiro durante o período experimental. Cada um dos 4 tratamentos é assinalado a 6 desses animais.

Estrutura das condições experimentais: unifatorial; fator A: anabolizante, com 4 níveis: doses de Stilbestrol.

Estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes: unifatorial; único fator E: parcela ou cordeiro.

Casualização: Os 24 cordeiros são assinalados aleatoriamente às 4 doses do anabolizante Stilbestrol sem qualquer restrição, mas de modo que resultem 6 cordeiros com cada uma das 4 doses.

Estrutura do experimento: A/E, onde A: fator experimental anabolizante e E: fator de unidade cordeiro.

c) Experimento: "Efeito do desbaste de frutos sobre a produção de pêssigo" com um fator experimental: desbaste com seis níveis (**Exemplo 10.1c**).

Procedimento: O experimento é conduzido sobre 48 plantas uniformes de um pomar. Cada um dos 6 tratamentos é assinalado a 8 dessas 48 plantas.

Estrutura das condições experimentais: unifatorial; fator A: desbaste de frutos, com 6 níveis.

Unidade experimental (parcela): planta com as características do material experimental que lhe correspondem; unidade de observação para características da planta, como peso da produção de frutos e demais características referentes à produção de frutos: a planta.

Estrutura das unidades: A homogeneidade das características estranhas torna o controle local desnecessário. Então, o único fator da estrutura das unidades para características referentes à produção de frutos é E: planta.

Casualização: Os 48 cordeiros são assinalados aleatoriamente aos 6 níveis de desbaste de frutos sem qualquer restrição.

Estrutura do experimento: A/E, onde A: fator experimental desbaste e E: fator de unidade planta.

Vantagens e desvantagens

O delineamento completamente casualizado tem as seguintes principais vantagens e desvantagens em relação aos delineamentos mais complexos:

Vantagens

a) É o delineamento experimental mais simples no que se refere a planejamento, condução e análise de dados.

b) Não impõe restrições quanto ao número de tratamentos e ao número de repetições. O número de repetições pode variar de tratamento para tratamento, embora muito freqüentemente seja conveniente a adoção do mesmo número de repetições para todos os tratamentos. A perda de informação resultante da ausência de observações em unidades experimentais ("parcelas perdidas") é relativamente pequena comparativamente ao que resulta com outros delineamentos.

c) Atribui o maior número de graus de liberdade para a estimativa da variância do erro experimental. Assim, a adoção de outro delineamento que não logre a formação de grupos de unidades experimentais mais homogêneas do que o conjunto das unidades do material experimental conduz à redução da precisão do experimento. Essa é uma propriedade particularmente importante para pequenos experimentos.

d) A análise estatística de experimento com esse delineamento é simples, mesmo quando o número de repetições varia com os tratamentos como resultado do plano do experimento ou da perda de parcelas, ou quando os tratamentos são afetados por erros experimentais com variâncias diferentes. Neste caso, entretanto, as inferências requerem atenção especial.

Desvantagens

a) Embora possa ser utilizado para qualquer número de tratamentos, o delineamento completamente casualizado pode não ser apropriado para situações de grande número de tratamentos, pois nessas circunstâncias o material muito freqüentemente não é suficientemente homogêneo quanto às características estranhas.

b) Como o delineamento completamente casualizado não efetua controle local, toda a variação estranha entre as unidades experimentais com um mesmo tratamento é incluída no erro experimental. Assim, esse delineamento não é apropriado quando as características estranhas do material experimental são heterogêneas relativamente ao nível de precisão desejado para as inferências. Isso pode ocorrer mesmo com experimentos conduzidos em ambientes controlados. Essa desvantagem é decisiva para a utilização do delineamento completamente casualizado. Em muitas situações, a classificação hábil das unidades experimentais permite lograr variação estranha entre as unidades dentro de blocos seja consideravelmente menor do que a variação estranha entre as unidades de blocos diferentes. Nessas circunstâncias, a adoção de delineamentos que imponham controle local possibilita o aumento da precisão do experimento.

10.6.2 Estrutura de unidades de dois fatores hierárquica

Essa estrutura de unidades foi definida e ilustrada na **Seção 10.3.1.2**. Ela é simbolizada por U/E, onde E e U denotam os fatores de unidade: parcela e bloco, respectivamente, e é representada através do croqui e do diagrama de Hasse apresentados na **Figura 10.3** e na **Figura 10.4**, respectivamente.

Essa estrutura de unidades pode originar diversos delineamentos, dependendo do número de níveis do fator A (tratamentos), dos números de níveis do fator E (parcela) nos níveis do fator U (bloco) e do procedimento de casualização adotado:

- delineamento em blocos completos,
- delineamento em blocos com mais de uma repetição dos tratamentos em cada bloco,
- delineamento em blocos com mais de uma repetição de alguns tratamentos em cada bloco e
- delineamento em blocos incompletos.

10.6.2.1 Delineamento em blocos completos

Esse delineamento corresponde à situação em que o número de unidades em cada bloco é igual ao número de tratamentos e a cada bloco compreende uma coleção completa dos tratamentos.

Casualização

Essa estrutura de experimento requer que os tratamentos sejam atribuídos aleatoriamente às parcelas com a restrição de que resulte uma repetição completa dos tratamentos em cada um dos blocos. Para satisfazer essa propriedade a casualização deve ser procedida bloco por bloco, separada e independentemente. Para cada bloco, a casualização consiste na atribuição dos tratamentos às unidades experimentais de modo que todas as unidades experimentais tenham a mesma probabilidade de ser alocada a qualquer dos tratamentos.

Essa estrutura de experimento é usualmente denominada **delineamento em blocos completos casualizados**, o que dá a idéia errônea de que os blocos são casualizados; de fato, as parcelas de cada bloco é que são casualizadas na atribuição dos tratamentos.

A **Figura 10.25** ilustra a geração do delineamento blocos completos casualizados para estrutura de condições experimentais com fator de tratamento A com 6 tratamentos: A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 e A_6 e 4 repetições de cada tratamento. A casualização pode ser procedida como segue:

Passo 1. Identificam-se arbitrariamente os tratamentos; por exemplo, com os números inteiros de 1 a 6 que lhes servem de subscrito (**Figura 10.25a**). Representam-se as unidades experimentais por um croqui ou uma lista. Então, identificam-se as unidades experimentais de cada bloco arbitrariamente com os números inteiros de 1 a 6 (**Figura 10.25b**).

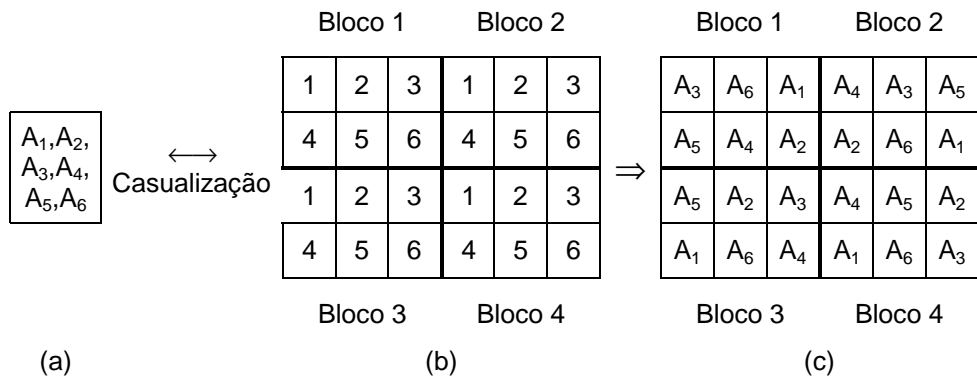


Figura 10.25. Geração de delineamento em blocos completos casualizados com 6 tratamentos: A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 e A_6 e 4 repetições de cada tratamento.

Passo 2. Para a assinalação dos tratamentos ao bloco 1, sorteia-se uma seqüência dos números de 1 a 6. Suponha-se que resulte a seqüência (3, 6, 1, 5, 4, 2). Então, assinala-se a unidade 3 ao tratamento A_1 , a unidade 6 ao tratamento A_2 , a unidade 1 ao tratamento A_3 , a unidade 5 ao tratamento A_4 , a unidade 4 ao tratamento A_5 , a unidade 2 ao tratamento A_6 . Esse mesmo procedimento é seguido para cada um dos demais blocos. Suponha-se que para os blocos 2, 3 e 4 sejam sorteadas as seqüências (6, 4, 2, 1, 3, 5), (4, 2, 3, 6, 1, 5) e (4, 3, 6, 1, 2, 5). O arranjo resultante dos tratamentos é apresentado na **Figura 10.25c**.

Estrutura do experimento

A casualização associa os níveis do fator de unidade E aos níveis do fator experimental A. Isso significa que os níveis do fator de unidade E são as unidades

experimentais para os níveis do fator experimental A. Nessa associação os níveis do fator U cruzam-se com os níveis do fator A e os níveis do fator E, que são aninhados nos níveis do fator U, aninham-se nos níveis do fator A. Assim, a estrutura do experimento é simbolizada por $(A \times U)/E$ ou, mais apropriadamente, por $A \times U$, já que há apenas um nível de E em cada combinação dos níveis de A e U.

Essa associação gera combinações de níveis que são os níveis do fator generalizado $A \wedge U \wedge E$ que é equivalente aos fatores $A \wedge U$ e $U \wedge E$ já que esses fatores têm os mesmos níveis. Assim, Assim, o fator generalizado $A \wedge U \wedge E$ pode ser interpretado como o fator $A \wedge U$ ou $U \wedge E$, que é aninhado nos fatores A e U

Os diagramas de Hasse da estrutura das condições experimentais, da estrutura das unidades e da estrutura do experimento são apresentados na **Figura 10.26**. A seta tracejada de dois sentidos indica a associação entre o fator de unidade E e o fator experimental A, e revela que os níveis do fator de unidade E são as unidades experimentais para o fator experimental A.

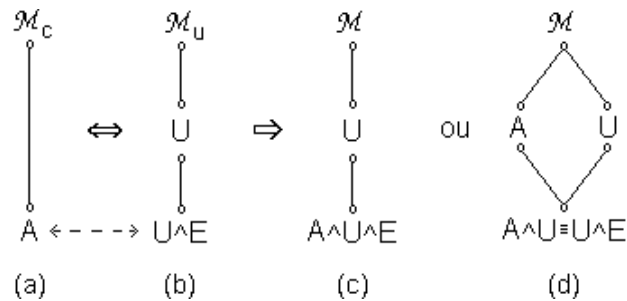


Figura 10.26. Diagrama do delineamento blocos completos casualizados (c,d) gerado por estrutura de condições experimentais unifatorial A (a) e estrutura de unidades hierárquica de dois fatores E e U: U/E (b) simbolizado por $A \times U$.

O diagrama da estrutura das unidades tem dois nódulos que correspondem aos dois fatores de unidade E e U, ou $U \wedge E$. Assim, o delineamento blocos completos casualizados decompõe o erro experimental em dois estratos. O erro experimental que afeta inferências referentes ao fator experimental A é o estrato que corresponde ao fator de unidade E, ou ao fator $U \wedge E$ que é aninhado em U. Isso significa que esse erro experimental provém da variação estranha entre os níveis do fator $U \wedge E$ dentro do fator U, ou seja, da variação estranha entre parcelas dentro de bloco. Esse erro experimental fica confundido com a variação entre os níveis do fator $A \wedge U$ dentro dos fatores A e U, já que os níveis dos fatores $U \wedge E$ e $A \wedge U$ se correspondem.

Inferências referentes ao fator A não são afetadas pelo estrato do erro experimental referente ao fator bloco, ou seja, pela variação estranha entre os blocos. Se a variação substancial atribuível a características estranhas situa-se no estrato U, este delineamento é mais eficiente do que o completamente casualizado para o mesmo material experimental, o que significa ganho de precisão para inferências referentes a efeitos de tratamentos.

Esse delineamento é ortogonal, o que implica que inferências referentes a efeitos de tratamentos não são afetadas por efeitos de blocos. Ele também é balanceado para tratamentos de modo que atribui igual precisão para as estimativas dos efeitos de todos os tratamentos e de todas as comparações simples de tratamentos.

Caracterização e usos do delineamento

Quando o material experimental não é suficientemente homogêneo quanto à composição de características estranhas, é necessária a imposição de controle local para que as diferenças entre tratamentos sejam menos afetadas por confundimento com efeitos de características estranhas.

O delineamento blocos completos casualizados é o que permite o controle local mais simples. Esse delineamento consiste na classificação das unidades experimentais em blocos, supostos mais homogêneos quanto às características estranhas do que o conjunto das unidades que constituem o material experimental. A cada um desses blocos é atribuída uma e somente uma repetição de cada tratamento. Assim, o delineamento constitui-se de tantos blocos quantas são as repetições estabelecidas para o experimento. Esse fundamento do delineamento blocos completos casualizados é ilustrado na **Figura 10.27**.

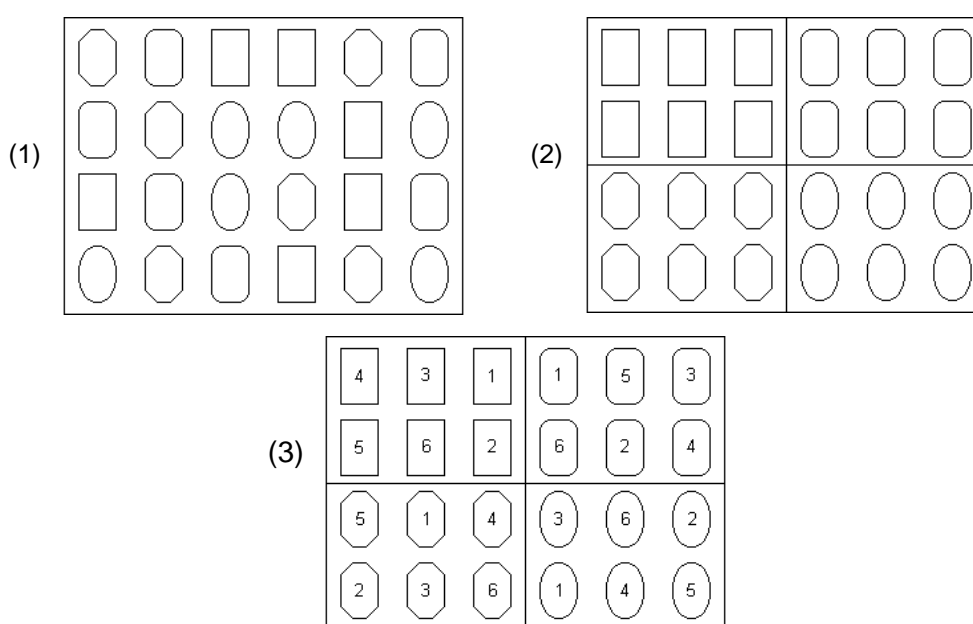


Figura 10.27. Ilustração do fundamento do delineamento blocos completos casualizados: 24 unidades experimentais heterogêneas (1), com heterogeneidade representada por formas diferentes de figuras; são classificadas em 4 blocos de 6 unidades homogêneas (2); os 6 tratamentos: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são assinalados aleatoriamente às unidades de cada um dos blocos.

Com esse delineamento, a heterogeneidade mais relevante do material experimental atribuível a características estranhas é controlada pela formação de blocos e parte essencial da heterogeneidade não controlada, supostamente irrelevante, é casualizada pela atribuição aleatória dos tratamentos às unidades experimentais dentro de cada bloco.

Para que o delineamento blocos completos casualizados seja eficiente, é necessário que os blocos sejam homogêneos, melhor dito, que a variação estranha entre as unidades experimentais dentro de cada bloco seja consideravelmente inferior à variação do conjunto das unidades do material experimental. Os blocos, entretanto, podem apresentar diferenças entre si, pois, se isso ocorre, todos os tratamentos são igualmente afetados. A variação entre blocos não afeta diferenças de efeitos de tratamentos e é eliminada da estimativa da variância do erro experimental. Assim, a implementação de qualquer técnica experimental que possa constituir fonte de variação estranha relevante deve ser efetuada de modo que a parte relevante dessa variação situe-se entre os blocos e não dentro destes.

O delineamento blocos completos casualizados é o mais usado na experimentação agrícola de campo, onde o material experimental é geralmente heterogêneo, principalmente no que diz respeito a características do solo, tais como fertilidade, umidade, etc. De modo geral, os blocos devem ser formados por parcelas contíguas, usualmente mais semelhantes quanto a essas características do que as distanciadas. Por essa razão, o número de tratamentos não pode ultrapassar certo limite, porque, quando se avoluma o número de parcelas por bloco, resultam algumas delas demasiadamente distanciadas, em geral de fertilidade muito distinta. Os blocos, entretanto, podem ser distribuídos por toda a área para a qual se deseja obter informações através do experimento. A forma das parcelas e sua disposição dentro dos blocos devem ser as mais convenientes para que seja obtida a máxima uniformidade dentro de blocos (**Figura 10.28**). Em terrenos planos, não se conhecendo a direção de máxima variação do material experimental (gradiente máximo), as parcelas de cada bloco devem dispor-se em grupo compacto, assumindo o bloco forma aproximadamente quadrada (**Figura 10.29**). Em terrenos declivosos, em que a maior uniformidade se verifica ao longo de uma mesma curva de nível, as parcelas de um mesmo bloco devem ser dispostas lado a lado, numa mesma faixa de nível, com a maior dimensão da parcela na direção do gradiente máximo (**Figura 10.30**).

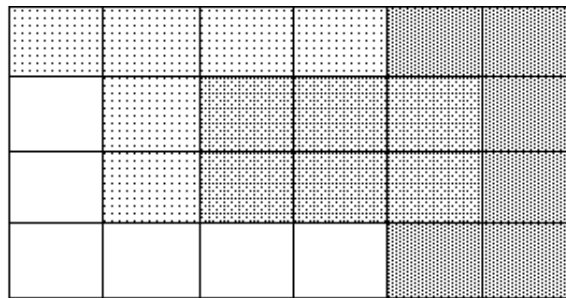


Figura 10.28. Formação de blocos em um experimento agrícola de campo com 4 blocos de 6 parcelas. Ilustração de que a forma não precisa ser regular e igual para todos os blocos. O que importa é a homogeneidade das parcelas dentro de cada bloco.

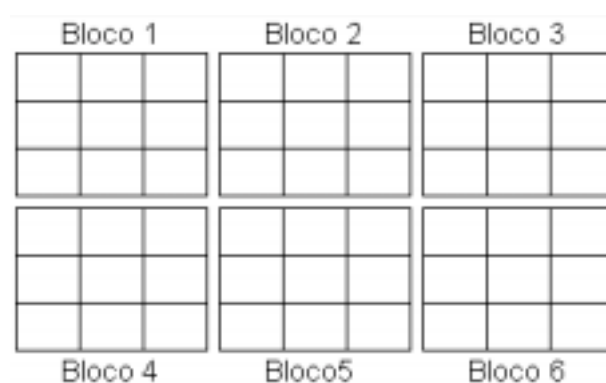


Figura 10.29. Ilustração da formação de blocos em terreno plano: 6 blocos de 6 parcelas dispostas compactamente.

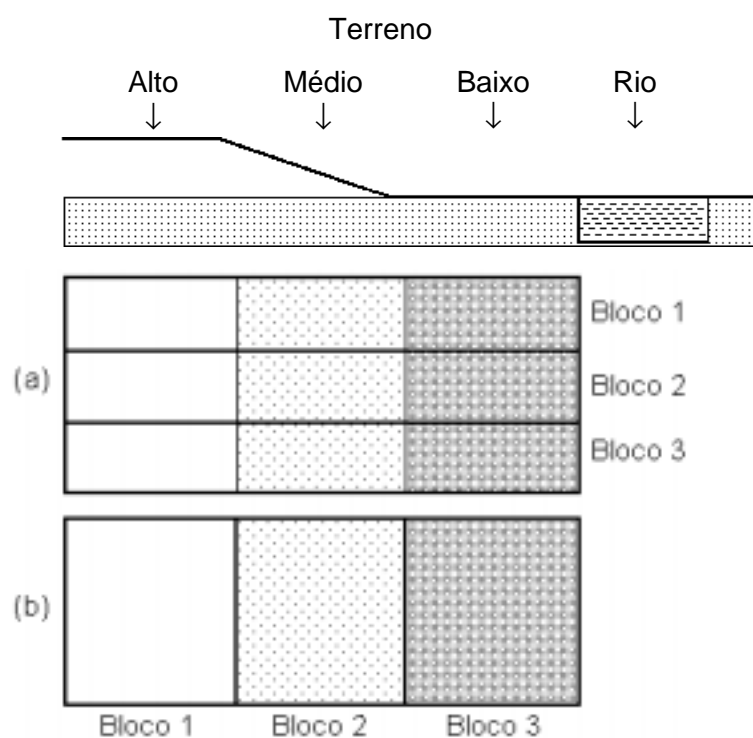


Figura 10.30. Formação dos blocos em um experimento conduzido em terreno com declive: (a) incorreta - os três blocos são homogêneos, mas as parcelas dentro de cada bloco são heterogêneas; (b) correta - os blocos são heterogêneos entre si, mas as parcelas dentro de cada bloco são homogêneas.

A preocupação em manter a variação dentro dos blocos reduzida deve permanecer durante a execução do experimento: a semeadura, os tratos culturais, a colheita e outras operações, quando se supõe possam afetar os resultados do experimento, como pode ocorrer se essas operações se prolongam por vários dias, devem ser efetuadas bloco por bloco, de modo que em cada bloco sejam processados em curto intervalo de tempo.

O delineamento blocos completos casualizados pode ser empregado em outras áreas de experimentação. Em experimentos com plantas perenes adultas, em que a maior fonte de heterogeneidade é o vigor das plantas, os blocos podem ser constituídos de árvores de semelhante vigor, não importando sua disposição na área experimental (**Figura 10.31**). Em experimentos com animais, os blocos podem ser formados por animais semelhantes quanto a características genéticas, idade e peso, e por poteiros uniformes, por exemplo. Em experimentos conduzidos em laboratório e em casa de vegetação, cada bloco pode ser constituído por um conjunto homogêneo de operadores, cobaias e equipamentos, e por posições próximas. Quando o experimento é conduzido em diversas etapas e há suspeita de que as diferenças entre etapas possam afetar os resultados, os blocos devem corresponder às etapas, de modo que em cada etapa sejam aplicados todos os tratamentos.

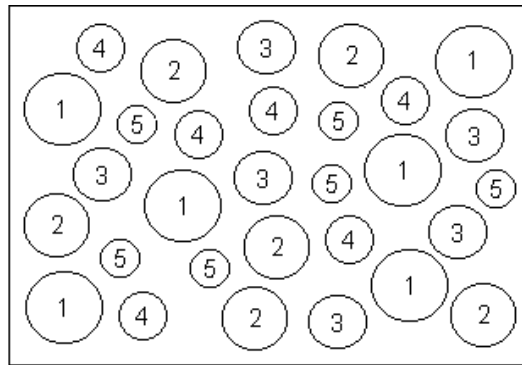


Figura 10.31. Ilustração da formação de blocos em experimento com plantas perenes adultas. Cada bloco é constituído por plantas de mesmo nível de vigor que é representado por círculos de mesmo diâmetro. Por exemplo, as plantas representadas pelos círculos com o número 1 formam o bloco 1.

Em resumo, o fundamental em experimentos em blocos completos casualizados é obedecer, tanto quanto possível, às técnicas adequadas na constituição dos blocos, na disposição de suas unidades experimentais e na execução do experimento, para que seja obtida a máxima uniformidade dentro dos blocos. Quando não for possível obter a necessária uniformidade dentro dos blocos, é recomendável utilizar outro delineamento que imponha controle local mais adequado para o experimento em questão (quadrado latino, blocos incompletos, etc.).

O **Exemplo 10.16** provê particulares do uso do delineamento em blocos completos casualizados, considerando alterações nos experimentos do **Exemplo 10.15b** e do **Exemplo 10.15c** decorrentes de modificações do material experimental.

Exemplo 10.16

a) Suponha-se que os animais utilizados no experimento referente ao efeito de anabolizante sobre o desenvolvimento corporal de cordeiros são heterogêneos quanto à idade e que, salvo por essa alteração o procedimento e o material experimental são os mesmos descritos no **Exemplo 10.15b**.

Procedimento: Para o controle local da heterogeneidade referente à idade os 24 animais são classificados em 6 grupos de 4 animais de idades próximas. Então, a 4 doses de anabolizante são assinaladas aos 4 animais de cada um desses 6 grupos.

Estrutura das unidades: A estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes compreende dois fatores: E: cordeiro (parcela) e U: idade (bloco); sua representação simbólica é U/E.

Casualização: Os 4 cordeiros de cada bloco (faixa de idade) são assinalados aleatoriamente às 4 doses do anabolizante Stilbestrol, separada e independentemente para cada um dos blocos.

Estrutura do experimento: $(A*U)/E$, onde A é o fator experimental anabolizante.

b) Considere-se o experimento para pesquisa do efeito do desbaste de frutos sobre a produção de pêssego (**Exemplo 10.15c**) e suponha-se que as 48 plantas são heterogêneas quanto ao vigor.

Procedimento: O controle local da heterogeneidade do vigor é procedido pela classificação das 48 plantas em 8 grupos de 6 plantas de vigor semelhante. Então, os 6 níveis de desbaste de frutos são assinalados a 8 plantas de cada um desses grupos.

Estrutura das unidades: A estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes compreende dois fatores: E: planta (parcela) e U: vigor (bloco) e é simbolizada por U/E.

Casualização: As 6 plantas de cada um dos 8 grupos de plantas de vigor semelhante são alocadas aleatoriamente aos 6 níveis de desbaste de frutos através de sorteio procedido separada e independente para cada grupo.

Estrutura do experimento: $(A*U)/E$, onde A é o fator experimental anabolizante.

Vantagens e desvantagens

As principais vantagens e desvantagens do delineamento blocos completos casualizados em relação aos demais delineamentos são discutidas a seguir.

a) A formação de blocos permite eliminar a variação estranha entre blocos das diferenças entre tratamentos e da estimativa da variância do erro experimental para inferências referentes a tratamentos. Assim, se o material experimental é heterogêneo quanto a características estranhas, o delineamento blocos completos casualizados possibilita que, através da formação hábil de blocos, sejam diminuídos o confundimento de efeitos de características estranhas com efeitos de tratamentos e a estimativa da variância do erro experimental que afeta esses efeitos. Desse modo, pode-se lograr nível de precisão mais evado para inferências do que com o delineamento completamente casualizado.

Entretanto, se o material experimental é suficientemente homogêneo quanto às características estranhas, a redução da estimativa da variação do erro experimental para inferências referentes a tratamentos que decorreria de controle local pode não compensar a correspondente perda de graus de liberdade. Nessa situação, a adoção do delineamento blocos completos casualizados conduz a uma precisão menor relativamente ao delineamento completamente casualizado.

No outro extremo, se o material experimental é demasiadamente heterogêneo, o que pode ocorrer quando o número de tratamentos é elevado (e mesmo em algumas situações de pequeno número de tratamentos), pode ser conveniente a imposição de controle local mais drástico; por exemplo, através da formação de blocos incompletos, isto é, de blocos com número de unidades menor do que o número de tratamentos.

b) O delineamento blocos completos casualizados requer número de repetições igual para todos os tratamentos. Entretanto, não impõe qualquer outra restrição para o número de repetições dos tratamentos. Por outro lado, desde que sejam logrados blocos suficientemente homogêneos, pode ser usado para qualquer número de tratamentos.

O número de repetições, entretanto, não deve ultrapassar um certo limite, pois, além desse limite, que depende de cada caso, um aumento no número de repetições implica em aumento de despesa não compensado pelo incremento da eficiência do experimento.

c) A análise estatística de experimentos em blocos completos casualizados é muito simples. A perda de observações de um ou mais blocos inteiros ou de um ou mais tratamentos não ocasiona qualquer complicação para as inferências. Entretanto, a perda de observações de algumas unidades experimentais torna a estrutura do experimento não ortogonal e não balanceada. Nessa situação o método de "estimação de parcelas perdidas" permite a realização das análises com algum trabalho extra de cálculo. Sob esse aspecto, o delineamento blocos completos casualizados é menos conveniente do que o delineamento correspondente com tratamentos completamente casualizados, principalmente se o número de unidades perdidas é elevado. Observe-se, entretanto, que a presente disponibilidade de computadores e programas para análise estatística torna essa desvantagem do delineamento blocos completos casualizados irrelevante.

d) Uma restrição importante do delineamento blocos completos casualizados é o confundimento que implica para a interação dos fatores tratamento e bloco: essa interação, ou seja, a variação das respostas relativas de tratamentos entre os blocos fica completamente confundida com a estimativa da variância do erro experimental para inferências referentes a tratamentos. Portanto, este delineamento não deve ser utilizado quando aquela interação é uma fonte de variação relevante e que, portanto, deve ser considerada no experimento. Nesse caso, uma alternativa a considerar é o delineamento blocos completos casualizados com mais de uma repetição de cada tratamento por bloco, que permite a estimação separada da interação tratamento x bloco e do erro experimental.

10.6.2.2 Delineamentos em blocos com mais de uma repetição de cada tratamento

Em algumas situações pode ser conveniente a formação de blocos com mais de uma repetição de cada tratamento. Essa forma de controle local é particularmente conveniente quando o número de tratamentos é muito pequeno ou a heterogeneidade do material experimental não é muito acentuada de modo que a formação de blocos com poucas unidades possa conduzir à perda de graus de liberdade não recompensada pela grandeza da variação estranha que fica entre os blocos.

Casualização

Essa estrutura de experimento requer que os tratamentos sejam atribuídos aleatoriamente às parcelas com a restrição de que resulte o número de repetições dos tratamentos especificado para cada um dos blocos. Para garantir essa propriedade a casualização deve ser procedida bloco por bloco, separada e independentemente. Para cada bloco, a casualização consiste na atribuição do número de unidades experimentais especificado para cada um dos tratamentos de modo que todas as unidades experimentais do bloco tenham a mesma probabilidade de ser alocada a qualquer dos tratamentos. Essa estrutura de experimento é usualmente denominada **delineamento em blocos casualizados generalizados**. Como o procedimento de casualização sugere, esse delineamento é um meio termo entre o delineamento completamente casualizado e o delineamento em blocos completos casualizados.

A **Figura 10.32** ilustra a geração do delineamento blocos casualizados generalizado para estrutura de condições experimentais com fator de tratamento A com 3 tratamentos: A_1 , A_2 e A_3 em 3 blocos de 2 repetições dos tratamentos. A casualização pode ser procedida como segue:

Passo 1. Identificam-se arbitrariamente os tratamentos; por exemplo, com os números inteiros de 1 a 3 que lhes servem de subscrito (**Figura 10.32a**), e as unidades experimentais de cada bloco arbitrariamente com os números inteiros de 1 a 6 (**Figura 10.32b**).

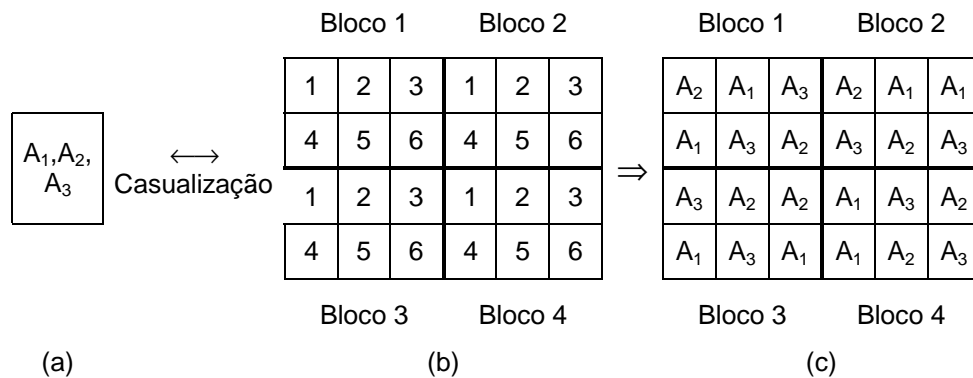


Figura 10.32. Geração de delineamento em blocos casualizados generalizados com 3 tratamentos: A_1 , A_2 e A_3 em 4 blocos de 2 repetições de cada tratamento.

Passo 2. Para a assinalação dos tratamentos ao bloco 1, sorteia-se uma seqüência dos números de 1 a 6. Suponha-se que resulte a seqüência (4, 2, 1, 6, 3, 5). Então, assinalam-se as unidades 4 e 2 ao tratamento A_1 , as unidade 1 e 6 ao tratamento A_2 e as unidades 3 e 5 ao tratamento A_3 . Esse mesmo procedimento é seguido para cada um dos demais blocos. Suponha-se que para os blocos 2, 3 e 4 sejam sorteadas as seqüências (3, 2, 5, 1, 4, 6), (6, 4, 3, 2, 1, 5) e (4, 1, 5, 3, 6, 2). O arranjo resultante dos tratamentos é apresentado na **Figura 10.32c**.

Estrutura do experimento

A casualização associa os níveis do fator de unidade E. Assim, os níveis do fator de unidade E são as unidades experimentais para os níveis do fator experimental A. Assim como no delineamento blocos completos casualizados, essa associação estabelece relação cruzada entre os fatores A e U e relação aninhada entre cada um desses fatores e o fator E, em que E é o fator aninhado. Diferentemente do delineamento com blocos completos casualizados essa relação é simbolizada legitimamente por $(A*U)/E$, já que, agora, há mais de um nível de E em cada combinação dos níveis de A e U.

As combinações de níveis resultante dessa associação são os níveis do fator generalizado $A \wedge U \wedge E$ que é aninhado no fator generalizado $A \wedge U$ que, por sua vez, é aninhado em ambos fatores A e U.

Os diagramas de Hasse da estrutura das condições experimentais, da estrutura das unidades e da estrutura do experimento são apresentados na **Figura 10.33**. A seta tracejada de dois sentidos mostra a associação entre o fator experimental A e o fator de unidade E salienta que os níveis do fator de unidade E são as unidades experimentais para o fator experimental A.

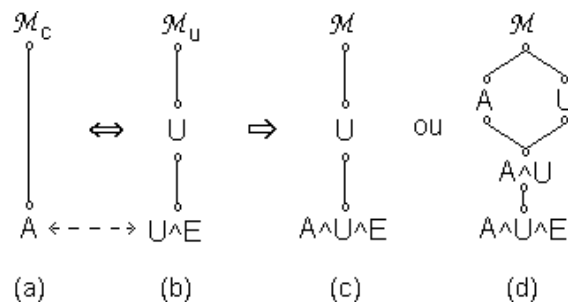


Figura 10.33. Diagrama do delineamento blocos casualizados generalizados (c,d) gerado por estrutura de condições experimentais unifatorial A (a) e estrutura de unidades hierárquica de dois fatores E e U: U/E (b) simbolizado por $(A*U)/E$.

O delineamento blocos casualizados generalizados decompõe o erro experimental em dois estratos correspondentes aos dois fatores de unidade E e U. O erro experimental que afeta as inferências referentes ao fator experimental A é o estrato que corresponde ao fator de unidade E, ou seja, ao fator $U \wedge E$ que é aninhado em U. Então, esse erro experimental é a variação estranha entre os níveis do fator $A \wedge U \wedge E$ dentro do fator $A \wedge U$, ou seja, da variação de parcelas dentro das combinações dos níveis dos fatores bloco e tratamento.

Inferências referentes ao fator A não são afetadas pelo estrato do erro experimental referente ao fator bloco, ou seja, pela variação estranha entre os blocos. Se a variação substancial atribuível a características estranhas situa-se no estrato U, este delineamento é mais eficiente do que o completamente casualizado para o mesmo material experimental, o que significa ganho de precisão para inferências referentes a efeitos de tratamentos.

Esse delineamento tem as mesmas propriedades de ortogonalidade e balanceamento do delineamento em blocos completos casualizados. Sua vantagem em relação a este delineamento é que a presença de repetições de tratamentos dentro de blocos permite inferências referentes à interação entre tratamentos e blocos.

Ilustrações desse delineamento são apresentadas no **Exemplo 6.5** e no **Exemplo 6.13**. Uma ilustração particular é provida pelo **Exemplo 10.17**.

Exemplo 10.17

Experimento: Considere-se um experimento que teve como objetivo a comparação da cultivar de tomateiro Pelotas com as cultivares Homestead e Sioux das quais aquela cultivar se originou por hibridação.

Esse experimento adotou controle local constituído de blocos de 6 parcelas a cada um dos quais foram assinaladas 2 repetições de cada uma dessas 3 cultivares. O croqui do delineamento é aquele apresentado na **Figura 10.32**, onde os tratamentos são simbolizados como segue: A_1 - Pelotas A_2 - Homestead e A_3 - Sioux. Nessas circunstâncias, há um fator experimental A e dois fatores de unidade: bloco e parcela; as estruturas das condições experimentais, das unidades e do experimento são, respectivamente, A, U/E e $(A^U)/E$, onde A é o fator cultivar e E e E, os fatores bloco e parcela.

Caracterização e usos

No delineamento em blocos completos, cada bloco inclui uma e apenas uma repetição de cada tratamento, constituindo, portanto, uma repetição completa dos tratamentos. O controle da heterogeneidade das características estranhas do material experimental é logrado à custa do sacrifício de graus de liberdade para a estimativa da variância do erro experimental. Esse delineamento é mais eficiente do que o completamente casualizado quando e apenas quando a separação da variação estranha do erro experimental que afeta os efeitos de tratamentos que é lograda pela formação de blocos supera a correspondente perda de graus de liberdade do erro.

Essa consideração é particularmente importante para experimentos com pequeno número de tratamentos. Para a situação de dois tratamentos, por exemplo, a formação de blocos de apenas duas unidades experimentais pode impor controle local exagerado, se o material experimental não é acentuadamente heterogêneo quanto à composição de características estranhas. Nessa situação, o controle local através da formação de blocos completos pode conduzir a uma perda elevada de graus de liberdade não compensada pela redução da variação do erro experimental. De fato, para doze repetições, por exemplo, a imposição de controle local pela formação de blocos completos implica a redução dos graus de liberdade à metade, isto é, de 22 para 11, conforme os esquemas de análise de variação da **Tabela 10.1**.

Tabela 10.1. Esquemas das análises de variação para experimento com um fator experimental: tratamento com 2 tratamentos e 24 parcelas para os delineamentos completamente casualizado e em blocos completos.

Completamente casualizado		Blocos completos	
Fonte de variação	GL	Fonte de variação	GL
Tratamento	1	Tratamento	1
Erro	22	Erro	11
Total	23	Total	23

Essa ilustração indica que a consideração de um meio termo entre a ausência de controle local e a formação de blocos completos pode ser mais adequada para experimentos de poucos tratamentos. Isto significa a classificação das unidades experimentais em blocos para mais de uma repetição de cada tratamento. Esse delineamento consiste de um conjunto de blocos cada um dos quais compreendendo um pequeno delineamento completamente casualizado com igual número de repetições para todos os tratamentos.

Assim, para o exemplo de dois tratamentos cada um com doze repetições, agrupando em cada bloco duas e três repetições de cada tratamento, do que resultam

seis e quatro blocos, respectivamente, tem-se os dois esquemas para a análise da variação da **Tabela 10.2**.

Tabela 10.2. Esquemas das análises da variação para delineamento com 2 tratamentos e 24 unidades experimentais para os delineamentos em blocos com duas e três repetições por bloco.

Fonte de variação	Graus de liberdade	
	Duas repetições por bloco	Três repetições por bloco
Bloco	5	3
Tratamento	1	1
Erro	17	19
Total	23	23

Dessa forma, com duas repetições de cada tratamento por bloco, obtém-se um aumento de 6 graus de liberdade para a estimativa da variância do erro em relação ao delineamento em blocos completos. Em experimentos agrícolas de campo, por exemplo, é de esperar que blocos de 4 parcelas sejam, de modo geral, essencialmente tão homogêneos quanto blocos de 2 parcelas, de modo que o incremento de graus de liberdade obtido com blocos de 4 parcelas deve conduzir a um aumento da sensibilidade do experimento. Com três repetições por bloco (portanto, 6 parcelas por bloco), há um incremento adicional de 2 graus de liberdade, não tão considerável como o anterior.

Com três tratamentos e oito repetições, portanto, 24 unidades experimentais, os graus de liberdade para os delineamentos completamente casualizado, em blocos completos e em blocos com duas repetições por bloco são os apresentados na **Tabela 10.3**.

Tabela 10.3. Esquemas das análises da variação para delineamento com 3 tratamentos e 24 unidades experimentais para os delineamentos completamente casualizado, em blocos completos e em blocos com duas repetições por bloco.

Fonte de variação	Graus de liberdade		
	Completamente Casualizado	Blocos casualizados	Blocos casual. com duas repetições por bloco
Bloco	-	7	3
Tratamento	2	2	2
Erro	21	14	18
Total	23	23	23

Assim, em experimentos com três tratamentos, também pode ser conveniente a alocação de mais de uma repetição de cada tratamento por bloco, pois, em muitas situações, blocos de 6 unidades experimentais são essencialmente tão homogêneos quanto blocos de 3 unidades.

Observe-se que, com esse delineamento, o erro para inferências referentes a efeitos de tratamentos é a variação entre unidades experimentais dentro das combinações de tratamentos e blocos, ou seja, aquele erro compreende o componente do erro experimental que afeta esses efeitos e a interação entre tratamentos e blocos.

Esse fato é mostrado na **Tabela 10.4** que apresenta os esquemas das análises da variação para o exemplo da **Tabela 10.3** e para a situação genérica de r repetições de cada um de t tratamentos em cada um de b blocos.

Tabela 10.4. Esquema da análise da variação para delineamento com t tratamentos em b blocos com r repetição por bloco (a), e para a situação particular $t=3$, $b=4$ de $r=2$ (b).

Fonte de variação		Graus de liberdade	
		(a)	(b)
Bloco		$b-1$	3
Tratamento		$t-1$	2
Erro	Tratamento : Bloco	$(b-1)(t-1)$	6
	Rep./Tratamento \wedge Bloco	$(r-1)tb$	12
Total		$rtb-1$	23

Dessa forma, o delineamento blocos casualizados com mais de uma repetição em cada bloco permite inferências referentes à interação Tratamento x Bloco que em algumas circunstâncias podem ser importantes, como pode ocorrer quando Bloco representa uma fonte de variação sistemática. Tais inferências não são providas pelo delineamento blocos casualizados. A utilização de mais de uma repetição de cada tratamento por bloco pode ser, então, uma alternativa conveniente.

Vantagens e desvantagens

As principais vantagens do delineamento blocos casualizados generalizados em relação ao delineamento completamente casualizado e ao delineamento em blocos completos casualizados são sumariadas a seguir:

a) Efetua um nível de controle local intermediário entre aqueles propiciados pelos delineamentos completamente casualizado e blocos casualizados. Esse nível de controle local pode ser adequado para situações de pequeno número de tratamentos e material experimental não exageradamente heterogêneo.

b) Permite separar da estimativa da variância do erro experimental a interação entre tratamentos e blocos, o que não é propiciado pelo delineamento blocos casualizados. Isso constitui uma vantagem em relação a este delineamento, em situações em que essa interação é importante.

10.6.2.3 Delineamento em blocos com mais de uma repetição de alguns tratamentos

Em experimentos em que algumas comparações particulares dos tratamentos são mais relevantes e não há interesse no conjunto das comparações simples dos tratamentos é conveniente que o delineamento atribua números de repetições apropriados para os tratamentos para que seja lograda precisão mais elevada para essas comparações. Com delineamentos em blocos isso significa mais de uma repetição para alguns dos tratamentos em cada um dos blocos.

Essa situação ocorre, por exemplo, em experimentos em que um dos tratamentos é um controle que serve como termo de comparação para cada um dos outros tratamentos (**Seção 8.6.4**). Esse é freqüentemente o caso, por exemplo, de experimentos com plantas de controle de pragas, doenças e invasoras com inseticidas, fungicidas e herbicidas, respectivamente, e de experimentos com animais de controle de doenças e parasitos com antibióticos e anti-helmínticos. Se o objetivo é a identificação de produtos eficazes, é de interesse o subconjunto das comparações simples que envolvem um tratamento

controle sem a presença de inseticida, fungicida, herbicida, antibiótico ou anti-helmíntico. Essas comparações particulares são efetuadas com precisão mais elevada quando é alocado número de repetições para o controle maior do que para os demais tratamentos (**Seção 9.4.3**).

Nessas circunstâncias, se o controle local é exercido pela formação de blocos, é conveniente alocar uma repetição para cada um dos tratamentos alternativos em cada bloco e maior número de repetições para o tratamento controle (**Seção 6.6.5**).

O delineamento em blocos casualizados generalizados é ortogonal, mas não balanceado. De fato, a propriedade do balanceamento não tem sentido e é inconveniente quando o objetivo do experimento não compreende comparações simples dos tratamentos.

10.6.2.4 Delineamento em blocos incompletos

Esse delineamento pressupõe que o material experimental é heterogêneo quanto a características estranhas de modo que as unidades experimentais podem ser classificadas em grupos de unidades internamente suficientemente homogêneas.

Estrutura de unidades hierárquica de dois fatores (**Figura 10.3**). O material experimental é heterogêneo quanto a uma característica estranha relevante. O controle local classifica as unidades de observação (parcelas) segundo os níveis dessa característica estranha em blocos com mesmo número de unidades, mas menor que o número de tratamentos.

Esse delineamento distingue-se do delineamento blocos completos casualizados pela relação entre o número de unidades experimentais em cada bloco e o número de tratamentos; no delineamento blocos incompletos casualizados o número de unidades em cada bloco é menor que o número de tratamentos.

Essa família de delineamentos compreende um número elevado de subfamílias que se distinguem pela relação estrutural entre a estrutura de tratamentos e a estrutura de unidades. O processo de casualização para a atribuição dos tratamentos às unidades experimentais deve obedecer ao controle local imposto de modo que sejam garantidas as propriedades da subfamília de delineamento particular. Esquemas próprios são apresentados em alguns textos. Uma ilustração é provida pela **Figura 10.34** para a situação particular de um fator experimental A com 4 níveis: A_1 , A_2 , A_3 e A_4 e 3 repetições em 4 blocos de 3 parcelas.

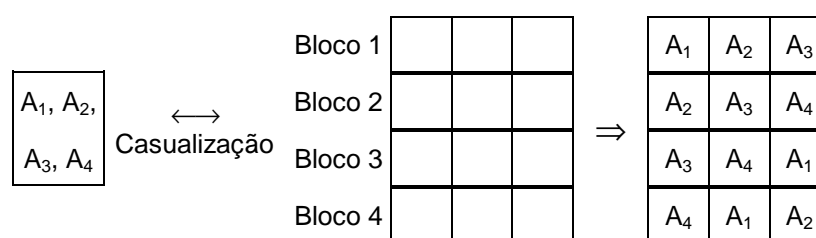


Figura 10.34. Delineamento blocos incompletos balanceados com 4 tratamentos: A_1 , A_2 , A_3 e A_4 com 3 repetições, em 4 blocos de 3 parcelas; cada par de tratamentos aparece 2 vezes em um mesmo bloco.

Esses delineamentos pressupõem que os blocos compreendem unidades experimentais consideravelmente mais homogêneas quanto a características estranhas do que o conjunto das unidades do material experimental. São apropriados para as situações em que heterogeneidade estranha do material é de tal porte que não pode ser lograda a formação de blocos completos de unidades suficientemente homogêneas para o experimento.

Esses delineamentos podem resultar de agrupamentos simples, duplos, ou de ordem mais elevada, das unidades experimentais. Alguns desses delineamentos com

estruturas particulares são conhecidos pela designação genérica de reticulados (reticulados quadrados, reticulados retangulares, reticulados cúbicos, quadrados reticulados, por exemplo).

Essa família de delineamentos é extremamente vasta, compreendendo algumas subfamílias de delineamentos bastante importantes, além dos reticulados, como as que seguem. Variações podem decorrer da presença de fatores intrínsecos.

10.6.3 Estrutura de unidades de dois fatores cruzada

A estrutura de unidades de dois fatores cruzada foi definida e ilustrada na **Seção 10.3.1.3**. Ela é simbolizada por $U \times U'$, onde U e U' denotam os fatores de unidade: fila e coluna, respectivamente, e é representada pelo croqui da **Figura 10.6** e o diagrama da **Figura 10.7**.

Essa estrutura de unidades pode originar diversos delineamentos, dependendo do número de níveis do fator experimental A (tratamentos) e dos números de níveis dos fatores de unidade U e U' e do procedimento de casualização adotado:

- delineamento quadrado latino,
- delineamento de Youden.

A associação de estrutura de condições experimentais univariada com essa estrutura de unidades de dois fatores cruzada pode gerar diversos delineamentos, dependendo do número de tratamentos e do procedimento de casualização:

10.6.3.1 Delineamento em quadrado latino

O delineamento quadrado latino corresponde à associação de estrutura de condições experimentais univariada e estrutura de unidades cruzadas de dois fatores fila (fator U) e coluna (fator U') em que o número de níveis de cada um desses dois fatores é igual ao número de tratamentos e cada um desses níveis é alocada uma coleção completa dos tratamentos.

Casualização

O controle local classifica as unidades de observação (parcelas) duplamente em filas e colunas, segundo os níveis de duas características estranhas com o número de unidades em cada fila e em cada coluna igual ao número de tratamentos. Assim, para t tratamentos, o material experimental deve compreender t^2 unidades experimentais classificadas em t filas e em t colunas. Então os tratamentos são assinalados aleatoriamente às unidades com a restrição dupla de que resulte uma repetição completa dos tratamentos em cada uma das filas e em cada uma das colunas. Essa propriedade torna o procedimento para casualização complicado. A casualização consiste em selecionar, ao acaso, um quadrado latino do conjunto de todos os quadrados latinos do tamanho apropriado que diferem pela disposição das letras. Isso significa que a casualização deve ser procedida através de algum processo de sorteio que atribua a todas as parcelas a mesma probabilidade de ser alocada a qualquer dos tratamentos com a condição de que resultem todos os tratamentos em cada uma das filas e em cada uma das colunas. Isso significa que igual probabilidade de seleção para todas as configurações distintas possíveis de distribuição dos tratamentos nas parcelas que satisfaçam as condições do quadrado latino.

O processo de casualização descrito a seguir permite a seleção de um quadrado latino do conjunto de todos os quadrados latinos de dimensões 3×3 a 6×6 e de um subconjunto dos quadrados latinos de 7×7 a 12×12 . Esse processo de sorteio, entretanto, não dá chance à seleção de certos quadrados de 7×7 a 12×12 . A casualização é efetuada a partir dos **quadrados latinos padrões** (ou seja, quadrados latinos com as letras em

ordem alfabética na primeira fila e na primeira coluna) apresentados no **Apêndice**, transcritos de Fisher & Yates (1949) 1.

Quadrados latinos de 3x3 a 5x5. Sorteia-se, primeiro, um quadrado padrão, utilizando os números indicados sob cada quadrado. (Para os quadrados latinos 3x3, só há um quadrado padrão). Permutam-se, ao acaso, as filas, salvo a primeira, e as colunas do quadrado sorteado. Atribui-se cada letra a um tratamento, de modo arbitrário.

Quadrado latino 6x6. Escolhe-se, ao acaso, um dos 22 quadrados apresentados no **Apêndice** e se permutam, também ao acaso, as seis filas, as seis colunas e as seis letras; atribui-se cada letra a um tratamento, de modo arbitrário. Alternativamente, permutam-se, ao acaso, as filas e as colunas e se atribui, também ao acaso, as letras aos tratamentos.

O número de quadrados latinos 6x6 com A, B, C, D, E, F em ordem alfabética na primeira fila e na primeira coluna é muito grande. No **Apêndice**, encontra-se apenas um representante de cada conjunto de quadrados latinos que podem gerar-se um dos outros por permutações de filas, de colunas e de letras, ou, ainda, mudando filas em colunas.

Quadrados latinos 7x7 e maiores. Toma-se um quadrado latino qualquer e se permutam, ao acaso, as filas, as colunas e as letras. No **Apêndice**, são apresentados quatro exemplos de quadrados latinos 7x7 e um exemplo de cada um dos quadrados latinos de 8x8 a 12x12.

Para ilustração, considere-se a casualização para a geração de um delineamento quadrado latino com 5 tratamentos A_1 , A_2 , A_3 , A_4 e A_5 , com 5 repetições de cada tratamento. A casualização é procedida nos passos que seguem:

1) Inicialmente, sorteia-se um dos números inteiros de 1 a 56 que indicam os quadrados latinos padrões do **Apêndice**. Suponha-se que foi sorteado o número 24. Como este número aparece em segundo lugar abaixo do quadrado latino indicado, deve-se tomar o **quadrado latino conjugado** daquele, isto é, o quadrado latino obtido mudando as filas em colunas e as colunas em filas, na mesma ordem, **Figura 10.35**.

A	B	C	D	E
B	D	A	E	C
C	E	B	A	D
D	C	E	B	A
E	A	D	C	B

Figura 10.35. Quadrado latino 5x5 sorteado da coleção de 56 quadrados latinos padrões.

2) Permutam-se, aleatoriamente, as quatro últimas filas do quadrado sorteado. Supondo que a permutação sorteada das quatro últimas filas é 3124, o quadrado resultante será o da **Figura 10.36**.

¹ Fisher, R.A. & Yates, F. **Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research**, 3rd. Edition. London: Oliver and Boyd, 1949.

(1)	A	B	C	D	E
(2)	B	D	A	E	C
(3)	C	E	B	A	D
(4)	D	C	E	B	A
(4)	E	A	D	C	B

 \Rightarrow

(3)	A	B	C	D	E
(1)	D	C	E	B	A
(2)	B	D	A	E	C
(3)	C	E	B	A	D
(4)	E	A	D	C	B

Figura 10.36. Permutação aleatória das quatro últimas filas do quadrado latino padrão sorteado.

3) Permutam-se, aleatoriamente, as cinco colunas do quadrado obtido no passo anterior. Se a permutação sorteada das colunas é 32145, o quadrado latino sorteado será o da Figura 10.37.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
A	B	C	D	E
D	C	E	B	A
B	D	A	E	C
C	E	B	A	D
E	A	D	C	B

 \Rightarrow

(3)	(2)	(1)	(4)	(5)
C	B	A	D	E
E	C	D	B	A
A	D	B	E	C
B	E	C	A	D
D	A	E	C	B

Figura 10.37. Permutação aleatória das cinco colunas do quadrado latino obtido na etapa 2.

4) Finalmente, atribui-se cada letra a um dos tratamentos do experimento, de modo arbitrário. As letras A, B, C, D e E foram atribuídas aos tratamentos A_1, A_2, A_3, A_4 e A_5 associando a ordem alfabética à ordem dos números que servem de subscritos (Figura 10.38).

		Coluna				
		1	2	3	4	5
Fila	1	A_3	A_2	A_1	A_4	A_5
	2	A_5	A_3	A_4	A_2	A_1
	3	A_1	A_4	A_2	A_5	A_3
	4	A_2	A_5	A_3	A_1	A_4
	5	A_4	A_1	A_5	A_3	A_2

Figura 10.38. Croqui do delineamento quadrado latino resultante do procedimento de casualização.

Estrutura do experimento

A casualização associa os níveis do fator de unidade $U \wedge U'$, que são aninhados nos níveis dos fatores de unidade U e U' , aos níveis do fator experimental A . Nessa associação os níveis dos fatores U e U' cruzam-se com os níveis do fator A . Assim, a estrutura do experimento é simbolizada por $A * U * U'$.

O diagrama do delineamento quadrado latino é apresentado na Figura 10.39. A seta tracejada mostra a associação entre o fator experimental A e o fator de unidade E

estabelecida pela casualização e indica que os níveis do fator de unidade $U \wedge U'$ são as unidades experimentais para o fator experimental A.

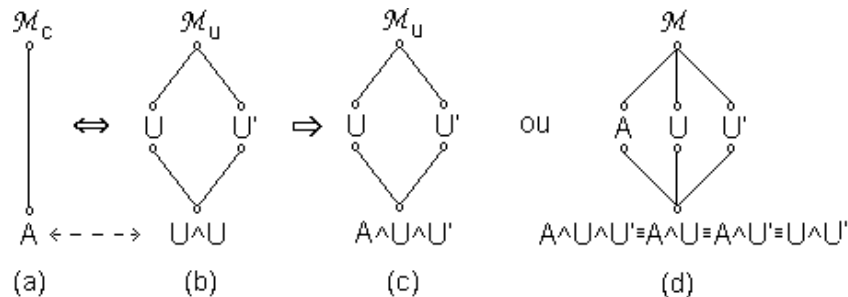


Figura 10.39. Diagrama do delineamento quadrado latino (c, d) gerado por estrutura de condições experimentais unifatorial A (a) e estrutura de unidades cruzada de dois fatores U e U': $U \wedge U'$ (b) simbolizado por $A \wedge U \wedge U'$.

Esse delineamento decompõe o erro experimental em três estratos correspondentes aos três fatores de unidade E, U e U'. O erro experimental que afeta as inferências referentes ao fator experimental A é o estrato que corresponde ao fator E. Essas inferências não são afetadas pelos estratos do erro experimental referentes aos fatores U: fila e U': coluna, ou seja, pela variação estranha entre as filas e entre as colunas. Se variação substancial atribuível a características estranhas situa-se entre as filas e entre as colunas, resulta ganho considerável de precisão (sensibilidade) para a detecção de diferenças de efeitos de tratamentos.

O diagrama salienta que com este delineamento todas as interações que envolvem os fatores de unidade U: fila e U': coluna ficam confundidas com o erro experimental que afeta inferências referentes ao fator experimental. Isso significa que a validade dessas inferências depende da adequabilidade da pressuposição de inexistência dessas interações.

Caracterização e usos

O delineamento em blocos permite eliminar, das diferenças entre os tratamentos e da variação devida ao erro experimental que afeta os efeitos de tratamentos, a variação atribuível às diferenças entre blocos. Assim, se o material experimental é heterogêneo quanto a características estranhas, o controle local exercido pela formação hábil de blocos permite que a redução do confundimento das diferenças entre os tratamentos com efeitos atribuíveis a características estranhas. Dessa forma logra-se mais precisão para as comparações entre tratamentos, ou seja, mais sensibilidade para detecção de diferenças entre tratamentos do que com o delineamento completamente casualizado.

Em algumas situações, entretanto, a heterogeneidade do material experimental atribuível a características estranhas é de tal natureza que pode parecer conveniente um controle local mais eficiente. No delineamento quadrado latino, o controle local é duplo. As unidades experimentais são simultaneamente agrupadas segundo os níveis de duas características estranhas relevantes, ou seja, segundo duas formas diferentes de agrupamento: em filas (ou linhas) e em colunas, a cada uma das quais corresponde uma repetição completa dos tratamentos. Assim, o número de repetições (número de filas e número de colunas) deve ser igual ao número de tratamentos. Para t tratamentos, deve-se ter, pois, um **quadrado latino txt**, de t filas e t colunas.

Para que o delineamento quadrado latino seja eficiente é necessário que tanto as filas como as colunas sejam homogêneas, melhor dito, que a variação atribuível a características estranhas entre as unidades experimentais dentro de cada fila e dentro de cada coluna seja consideravelmente inferior à variação do conjunto das unidades do

material experimental. Entretanto, as filas e as colunas podem diferir entre si, pois essas diferenças afetam igualmente todos os tratamentos. Ademais, a variação entre filas e a variação entre as colunas são eliminadas da estimativa da variância do erro experimental para inferências referentes a tratamentos.

Assim, para que seja obtida eficiência com esse delineamento, é necessário que o arranjo do material experimental e a condução do experimento sejam procedidos de modo que as diferenças entre filas e as diferenças entre colunas correspondam a fontes de variação estranha relevantes. Dessa forma, é conveniente que a implementação de qualquer técnica experimental que possa constituir fonte de variação estranha relevante seja efetuada de modo que a parte relevante dessa variação situe-se entre as filas e entre as colunas e não dentro destes agrupamentos das unidades experimentais.

O quadrado latino permite o controle da heterogeneidade do material experimental atribuível a características estranhas em duas direções perpendiculares, correspondentes à direção das filas e à direção das colunas. Para tal, as parcelas devem ser arranjadas em formação compacta, aproximadamente quadrada, salvo se há indicação segura de que a heterogeneidade do solo é mais acentuada na direção das filas do que na direção das colunas, ou vice-versa. Neste caso, é aconselhável usar dimensão menor na direção em que a heterogeneidade atribuível a características estranhas é mais acentuada. A **Figura 10.40** apresenta o croqui típico de um quadrado latino 5x5, após a casualização.

		Coluna ↓				
		E	C	B	A	D
		C	A	E	D	B
Fila →		A	D	C	B	E
		D	B	A	E	C
		B	E	D	C	A

Figura 10.40. Croqui típico de um quadrado latino 5 x 5.

O uso do quadrado latino também pode ser conveniente para o controle mais efetivo de variação estranha muito relevante e crescente em uma única direção (**Figura 10.41**). Tal pode ocorrer, por exemplo, se limitações de material experimental forcem que as parcelas sejam dispostas lado a lado, numa mesma faixa, ao longo da qual há um gradiente de heterogeneidade acentuado. Neste caso, o uso de um quadrado latino, com as "filas" constituindo blocos compactos de parcelas e as "colunas" conjuntos de parcelas com a mesma posição relativa nas diferentes filas, poderá permitir um controle da heterogeneidade estranha do material experimental mais eficiente do que se obteria empregando o delineamento blocos completos casualizados.

Fila →		1					2					3					4					5				
Coluna →		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		D	B	A	E	C	B	E	D	C	A	A	D	C	B	E	C	A	E	D	B	E	C	B	A	D

Figura 10.41. Croqui de um experimento em quadrado latino 5x5 com o controle duplo da heterogeneidade do material experimental em uma direção.

Com esse delineamento, a formação de filas permite o controle da parte mais acentuada da heterogeneidade estranha e a formação de colunas, o controle da

heterogeneidade entre as parcelas de uma mesma fila, na medida em que o gradiente da heterogeneidade ao longo de cada fila seja aproximadamente o mesmo para todas as filas.

Essas circunstâncias de heterogeneidade em duas direções perpendiculares ou heterogeneidade muito acentuada e crescente em uma única direção ocorrem raramente em experimentação agrícola de campo. Por essa razão, o delineamento quadrado latino é raramente recomendável para experimentos de campo com plantas e animais.

O delineamento quadrado latino teve origem na experimentação agrícola de campo, mas também é usado na experimentação zootécnica, de laboratório, industrial, etc. Em tais experimentos, as filas e as colunas podem representar, por exemplo, períodos ou métodos de aplicação de tratamentos, operadores, pacientes e laboratórios, que podem constituir fontes de variação de interesse no experimento.

Suponha-se, por exemplo, que se deseja estudar o efeito da administração de seis rações, A, B, C, D, E e F, sobre o ganho de peso de leitões de determinada raça. Em experimentos dessa natureza, em certas circunstâncias, a unidade experimental é constituída, por um único animal. Nesse caso, para lograr precisão elevada, pode ser necessário controle local que elimine, das comparações entre tratamentos (rações), todas as diferenças importantes entre indivíduos. Com esse objetivo, pode-se utilizar seis leitegadas, escolhendo seis leitões de cada leitegada, três de cada sexo, de modo que se logre grupos de animais de mesmo sexo constituídos por um animal de cada ninhada com pesos iniciais bastante próximos. Em tais circunstâncias, pode-se usar um quadrado latino 6 x 6, cujas filas sejam constituídas pelas leitegadas e colunas pelas combinações de sexos e pesos iniciais. Preliminarmente, numeram-se as leitegadas (filas) numa ordem arbitrária, e os leitões de cada leitegada (colunas) primeiro os de um sexo e após os do outro na ordem crescente (ou decrescente) dos pesos iniciais. O esquema do experimento poderia ser, por exemplo, o da **Figura 10.42**, com a disposição dos tratamentos resultante do processo de casualização.

Com esse delineamento as comparações entre as rações não serão afetadas pelas diferenças devidas a leitegadas, sexos, e pesos iniciais. Por outro lado, se desejado, também poderão ser derivadas inferências referentes a efeitos de leitegadas e sexos e pesos iniciais dentro de sexos. Entretanto, o delineamento quadrado latino impede inferências referentes às interações dessas fontes de variação.

		Peso Inicial ↓					
		Machos ↓			Fêmeas ↓		
		1	2	3	1	2	3
Leitegada →	1	D	E	A	F	C	B
	2	E	B	C	D	A	F
	3	A	F	D	B	E	C
	4	B	C	F	A	D	E
	5	C	D	B	E	F	A
	6	F	A	E	C	B	D

Figura 10.42. Croqui de um experimento em quadrado latino 6x6 com o controle da heterogeneidade de leitegadas através de filas e da heterogeneidade atribuível a sexo e peso inicial através de colunas.

Observe-se que, em experimentos dessa natureza, a disposição dos tratamentos em filas e colunas é apenas lógica. Assim, no experimento tomado como exemplo, a disposição dos animais no local em que se realiza o experimento não é necessariamente

aquela indicada pelo croqui. O croqui indica apenas, por exemplo, que o macho da leitegada 1 com peso inicial 1 recebe a ração D.

Para ilustração do delineamento em quadrado latino considere-se **Exemplo 10.18**.

Exemplo 10.18

b) Experimento: "Efeito de anabolizante sobre o desenvolvimento corporal de cordeiros machos da raça Corriedale" com um fator experimental: anabolizante Stilbestrol com quatro doses (**Exemplo 10.15b**). Suponha-se que esse experimento é conduzido com 16 animais e demais características estranhas do material experimental descrita no **Exemplo 10.4** e que esses animais correspondem a 16 combinações de 4 procedências e 4 idades.

Procedimento: Para o controle local da heterogeneidade que possa originar-se das diferenças de procedência e de idade os 16 animais são classificados duplamente segundo as 4 procedências e os 4 níveis de idade. Então, as doses do anabolizante são assinaladas aos 16 animais de modo que as 4 doses resultem em cada uma das 4 procedências e em cada um dos níveis de idade.

Estrutura das unidades: A estrutura das unidades para as variáveis respostas relevantes compreende dois fatores: E: cordeiro (parcela), U: procedência (fila) e idade (coluna); sua representação simbólica é $U \wedge U'$.

Casualização: Os 16 cordeiros são assinalados aleatoriamente às 4 doses do anabolizante Stilbestrol de modo que as 4 doses resultem associadas com cada uma das 4 procedências e cada um dos 4 níveis de idade.

Estrutura do experimento: $A * U * U'$, onde A é o fator experimental anabolizante.

Vantagens e desvantagens

A principal vantagem do quadrado latino em relação ao delineamento blocos completos casualizados é que aquele delineamento permite eliminar, das comparações entre tratamentos e da estimativa da variação casual para inferências referentes a tratamentos, todas as diferenças entre filas e todas as diferenças entre colunas. Assim, com o delineamento quadrado latino, tem-se oportunidade para lograr maior eficiência do que com o delineamento blocos completos casualizados.

Deve-se ter em conta, entretanto, que a eliminação adicional de uma fonte de variação estranha do erro experimental e das diferenças entre tratamentos, em relação ao delineamento blocos completos casualizados, é feita à custa da perda de graus de liberdade do erro. Assim, se tal variação não é suficientemente grande para superar a desvantagem da perda de graus de liberdade, resulta a redução da precisão do experimento. Não obstante, como, em geral, tal ocorrência não pode ser prevista com certeza a priori, a possível perda de precisão é o prêmio pago para um seguro contra uma heterogeneidade esperada do material experimental atribuível a características estranhas.

Discutem-se, a seguir, as principais desvantagens do quadrado latino em relação ao delineamento blocos completos casualizados.

a) A principal desvantagem do quadrado latino é a relação altamente restritiva entre o número de repetições e o número de tratamentos: o quadrado latino requer que o número de repetições seja igual ao número de tratamentos. Essa condição torna o uso do quadrado latino impraticável para experimentos com número elevado de tratamentos. Assim, o quadrado latino raramente é usado para experimentos com mais de oito tratamentos.

Por outro lado, os quadrados latinos 3x3 e 4x4 reservam números de graus de liberdade para a estimativa da variância do erro experimental demasiadamente reduzidos: dois e seis graus de liberdade, respectivamente, enquanto que o quadrado latino 2x2 não fornece nenhum grau de liberdade para o erro. Assim, não se deve usar um único quadrado latino 2x2, 3x3 ou 4x4. Entretanto, esse problema pode ser resolvido com o uso de duas ou mais repetições do quadrado latino, de modo a lograr o número necessário de graus de liberdade para o erro.

b) A análise estatística de experimentos em quadrado latino não é muito mais trabalhosa do que a de experimentos em blocos completos casualizados, mesmo se algumas poucas unidades experimentais são perdidas. A perda dos resultados totais de filas, de colunas ou de tratamentos, entretanto, torna a análise bastante trabalhosa, o que não ocorre com experimentos em blocos completos casualizados, em que a perda de resultados totais de blocos ou de tratamentos não ocasiona qualquer dificuldade para a análise. Entretanto, com a atual disponibilidade de computadores eletrônicos e programas apropriados dificuldades referentes a cálculos para a análise estatística tornaram-se pouco relevantes.

c) Com o delineamento quadrado latino, a decomposição da variação atribuível ao erro experimental de quadrados do erro em componentes para certas comparações entre os tratamentos não é realizada com a mesma facilidade permitida pelo delineamento blocos completos casualizados. Assim, se a variância do erro é heterogênea (por exemplo, se os rendimentos de um ou mais tratamentos apresentam variância diferente da de outros tratamentos), a análise torna-se trabalhosa, a menos que a heterogeneidade possa ser corrigida por uma transformação dos dados.

d) Com o quadrado latino, as interações de tratamentos com filas e com colunas ficam completamente confundidas com a variação atribuível ao erro experimental para inferências referentes a tratamentos, inflacionando sua estimativa. Dessa forma, o delineamento quadrado latino não deve ser adotado em situações em que tais interações sejam relevantes. Isso pode ocorrer, por exemplo, se fila ou coluna corresponde a um fator experimental intrínseco.

Esse delineamento também pode contemplar algumas variações, a semelhança daquelas consideradas para o delineamento em blocos completos casualizados.

10.7 Delineamentos para estruturas de condições experimentais fatoriais

Alguns dos delineamentos para estruturas de condições experimentais unifatoriais estendem-se para estruturas fatoriais pela simples consideração das combinações dos níveis dos fatores experimentais como os tratamentos considerados na exposição da **Seção 10.6**. Esse é o caso dos seguintes delineamentos:

- delineamento completamente casualizado,
- delineamento em blocos completos,
- delineamento em blocos incompletos e
- delineamento quadrado latino.

Delineamentos em blocos incompletos com estruturas de unidades fatoriais usualmente são consideravelmente mais complexos e merecem consideração particular.

Por outro lado, há delineamentos particularmente apropriados para estruturas de condições experimentais fatoriais. Alguns desses delineamentos são considerados a seguir.

10.7.1 Delineamentos com parcelas divididas

Esses delineamentos correspondem à associação de estruturas de dois ou mais fatores experimentais de tratamento com estruturas de unidades com duas ou mais formações de unidades experimentais, com ou sem classificações levadas em conta por controle local. Algumas dessas estruturas de unidade foram consideradas nas **Seções 10.3.1.2 e 10.3.1.4**.

Considerar-se-á a situação simples de estrutura de condições experimentais constituídas de dois fatores A e B e estrutura de unidades hierárquica de três fatores E: subparcela, U: parcela e U': bloco simbolizada por U'/U/E (**Seção 10.3.1.4**). Essa estrutura de unidades compreende uma classificação das unidades experimentais elementares para propósito de controle local que corresponde ao fator bloco (U') e duas

formações de unidades experimentais às quais correspondem dois fatores de unidade: parcela (U) e subparcela (U'). A estrutura de experimento com parcelas divididas nessas circunstâncias compreende a associação dos níveis do fator experimental A aos níveis do fator de unidade U: parcela de modo que em cada bloco resulte uma coleção completa dos níveis de, e dos níveis do fator experimental B aos níveis do fator de unidade U': subparcela de modo que em cada nível do fator U resulte uma coleção completa dos níveis de B. Isso significa o requerimento de que o número de parcelas dentro de cada bloco seja igual ao número de níveis do fator A e de que o número de subparcelas dentro de cada parcela seja igual ao número de níveis do fator B.

Casualização

Essa estrutura de experimento requer que os níveis do fator experimental A sejam atribuídos aleatoriamente às parcelas com a restrição de que resulte uma repetição completa desses níveis em cada um dos blocos, e que os níveis do fator experimental B sejam atribuídos aleatoriamente às subparcelas com a restrição de que resulte uma repetição completa desses níveis em cada uma das parcelas.

Para satisfazer essa propriedade a casualização deve ser efetuada separadamente para os fatores A e B. Para tal, a casualização é procedida em duas etapas:

Etapa 1 - Atribui-se os níveis do fator A (fator em parcelas) às parcelas pelo processo apropriado para o delineamento básico adotado - completamente casualizado, blocos casualizados, etc.

Etapa 2 - Atribui-se os níveis fator B (do fator em subparcelas) às subparcelas de cada parcela completamente ao acaso, separada e independentemente para cada parcela.

A **Figura 10.43** ilustra a geração do delineamento em blocos completos casualizados com parcelas divididas para estrutura cruzada completa de dois fatores experimentais A e B, respectivamente com 3 e 2 níveis, com o fator A em parcelas e o fator B em subparcelas. A representação dessa estrutura de experimento por diagrama de Hasse é apresentada na **Figura 10.44**.

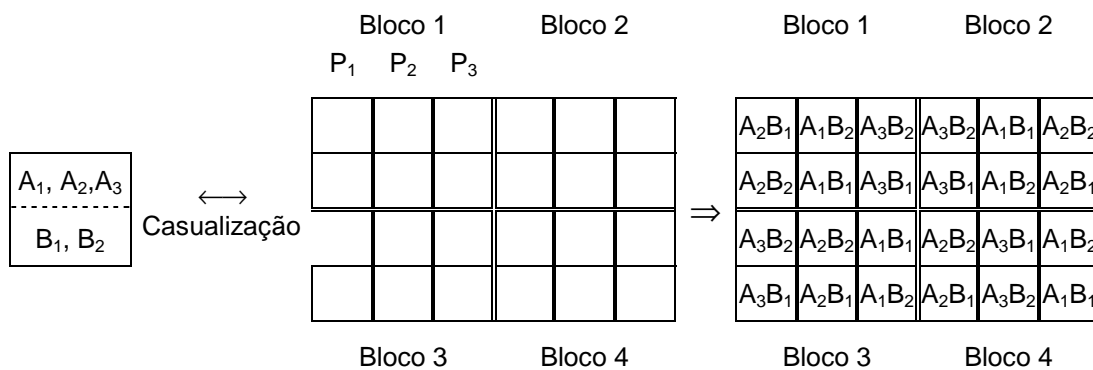


Figura 10.43. Delineamento em blocos completos casualizado com parcelas divididas com fator A com 3 níveis (A₁, A₂ e A₃) em parcelas e fator B com 2 níveis (B₁ e B₂.) em subparcelas com 4 repetições de cada tratamento.

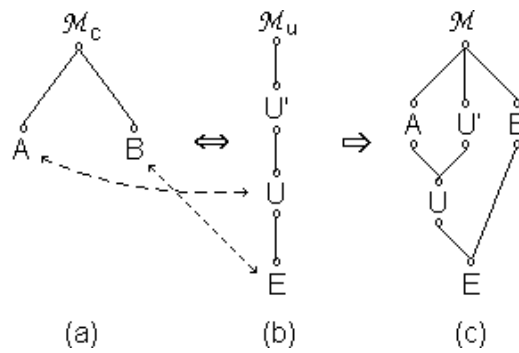


Figura 10.44. Diagrama do delineamento blocos completos casualizados com parcelas divididas (c) gerado pela associação da estrutura de dois fatores experimentais A e B cruzada (a) e estrutura de unidades hierárquica de três fatores E, U e U' (b) simbolizado por $((A*U')/U)*B/E$.

Supostamente, as características estranhas são mais homogêneas entre as subparcelas dentro de parcelas do que entre as parcelas dentro de blocos. Esses delineamentos são apropriados quando é desejável precisão mais elevada para o fator alocado nas subparcelas, ou quando a divisão das unidades experimentais é implicada por conveniência de ordem prática ou por restrição inerente ao material experimental.

10.7.2 Delineamentos em blocos divididos em faixas

O material experimental é dividido em faixas segundo duas direções perpendiculares. Na situação de dois fatores de tratamentos, os níveis de um dos fatores são atribuídos aleatoriamente às faixas de uma dessas direções e os níveis do outro fator, às faixas da outra direção. A **Figura 10.45** ilustra a geração desse delineamento para a situação de estrutura de dois fatores experimentais A e B cruzada. A representação por diagrama é apresentada na **Figura 10.46**.

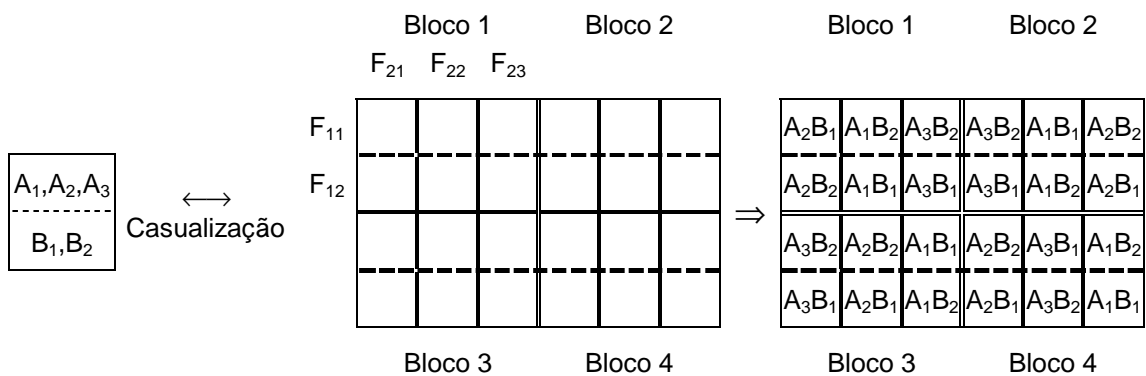


Figura 10.45. Delineamento blocos divididos em faixas transversais para o fator A com 3 níveis (A₁, A₂, A₃) em uma direção e o fator B com 2 níveis (B₁, B₂) na direção transversal com 4 repetições de cada tratamento.

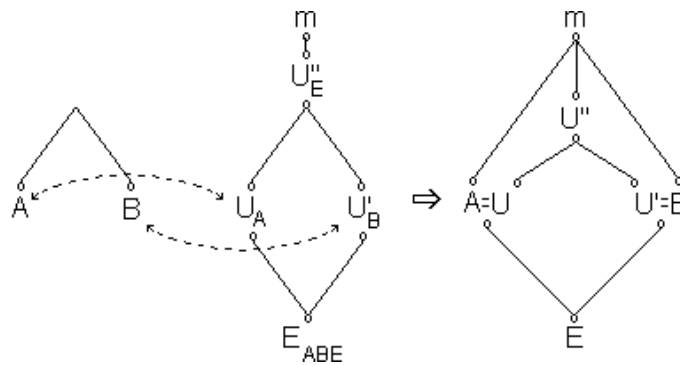


Figura 10.46. Diagrama de delineamento blocos casualizados dividido em faixas com dois fatores experimentais A e B, gerado por estrutura de condições experimentais de dois fatores cruzada e estrutura de unidades de quatro fatores mista.

Supostamente, as unidades experimentais dentro de cada uma das faixas, nas duas direções, são mais homogêneas do que o conjunto de todas as unidades do material experimental.

10.7.3 Delineamentos para estruturas de condições experimentais fatoriais em blocos incompletos

Esses são delineamentos para experimentos com dois ou mais fatores de tratamento em que os níveis ou as combinações de níveis de algum dos fatores são atribuídos às unidades experimentais dispostas em blocos incompletos de modo que os efeitos (mais comumente interações) que o pesquisador supõe irrelevantes sejam confundidos com os efeitos de blocos.

Os delineamentos com parcelas divididas e em blocos divididos em faixas são delineamentos dessa família. Nos primeiros, o efeito do fator cujos níveis são atribuídos às subunidades fica confundido com o efeito das unidades experimentais; nos delineamentos em blocos divididos em faixas os efeitos dos dois fatores experimentais ficam confundidos cada um com as faixas de uma das direções.

10.8 Delineamentos com estruturas de unidade de observações múltiplas

Esses delineamentos são derivações dos delineamentos com estruturas de unidade de observações simples (**Seção 10.5**) em que a unidade experimental elementar compreende mais de uma unidade de observação (**Seção 10.3.2**).

10.9 Delineamentos para estruturas de unidade de observações repetidas

Esses delineamentos são derivações dos delineamentos com estruturas de unidade de observações simples (**Seção 10.5**) em que sobre cada unidade experimental elementar são efetuadas mensurações da variável resposta em dois ou mais instantes durante o período experimental (**Seção 10.3.3**).

10.10 Delineamentos de Experimentos de Abrangência Ampla

Esses delineamentos compreendem repetições ou agregações dos delineamentos de experimentos de abrangência restrita (**Seções 10.6 a 10.9**).

10.11 Resumo

O plano do experimento define a estrutura dos fatores experimentais, a estrutura dos fatores de unidade e a relação dessas duas estruturas, ou seja, a estrutura do experimento ou delineamento experimental. A estrutura do experimento deve ser expressa por um modelo estatístico que é a base para os procedimentos de análise estatística para a derivação das inferências do experimento.

Nessas circunstâncias, a adequação e a simplicidade dos procedimentos de análise estatística para um experimento dependem da adequação e da simplicidade do delineamento adotado. Entretanto, a facilidade da disponibilidade de receitas para a análise de delineamentos mais simples não deve condicionar o pesquisador ao uso de delineamento que implique restrições indevidas ao experimento. Os recursos de computação atualmente disponíveis permitem ao pesquisador processar a análise estatística de experimento com qualquer delineamento. Entretanto, a validade das inferências para a consecução dos objetivos do experimento depende da adequabilidade do delineamento para esses objetivos.

Assim, o pesquisador deve adotar o delineamento experimental mais apropriado para cada experimento particular, com a garantia de que seja um delineamento experimental válido e eficiente, ou seja, que satisfaça os requisitos do plano do experimento e os princípios básicos do delineamento do experimento (**Capítulo 6**).

Exercícios 10.2

1. Considere o exercício 10 dos **Exercícios 10.1**.
 - a) Identifique as unidades experimentais para os fatores experimentais cultivar, fertilizante e desbaste.
 - b) Quais desses fatores experimentais são fatores de tratamento e quais são fatores intrínsecos?
 - c) Quantas repetições o delineamento experimental adotado reserva para cada nível dos fatores experimentais: i) cultivar? ii) fertilizante? iii) desbaste?
2. Um pesquisador planeja um experimento para pesquisa do efeito de quatro herbicidas para o controle de invasoras em lavouras de milho. Ele escolhe seis locais de sua estação experimental e em cada um desses locais preparar doze talhões, e, então, atribui aleatoriamente cada herbicida a três dos doze talhões.
 - a) Identifique os fatores experimentais e os fatores de unidades.
 - b) Caracterize as relações entre esses fatores.
 - c) Identifique a unidade experimental para o fator experimental herbicida.
 - d) Descreva a população amostrada.
 - e) Sugira um delineamento alternativo mais conveniente para esse experimento.
3. Em uma pesquisa do efeito de quatro leguminosas sobre o desenvolvimento corporal de bovinos são escolhidos cinco locais de uma região, cada local é dividido em três áreas, cada uma das quais com quatro poteiros. Quatro leguminosas são assinaladas aleatoriamente aos quatro poteiros de cada uma dessas quinze áreas. Quando a pastagem encontra-se implantada, são atribuídos aleatoriamente a esses poteiros cento e oitenta bovinos de uma mesma raça uniformes quanto a idade e peso corporal, três animais por poteiro.
 - a) Identifique os fatores experimentais e os fatores de unidades.
 - b) Caracterize as relações entre esses fatores.
4. Suponha que os animais do experimento considerado no exercício anterior sejam heterogêneos quanto à idade, mas possam ser classificados em quinze grupos homogêneos.
 - a) Como você procederia a atribuição dos animais aos poteiros.
 - b) Essa alteração do plano do experimento implica alguma alteração nos fatores de unidades.

Exercícios de Revisão

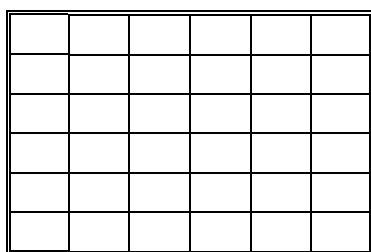
1. Conceitue e ilustre através de exemplos: planejamento das condições experimentais e planejamento do controle experimental.
2. Explique o significado e ilustre: estrutura de condições experimentais unifatorial e estrutura de condições experimentais fatorial.
3. Conceitue e ilustre: fator experimental e fator de unidade.
4. O que significam estrutura das condições experimentais e estrutura das unidades. Ilustre esses dois conceitos com um exemplo de experimento de sua área
5. Distinga e ilustre os conceitos de estrutura de fatores experimentais cruzada completa e cruzada incompleta.
6. O que significa uma estrutura de fatores experimentais cruzada com tratamentos adicionais. Dê um exemplo de condições experimentais com essa estrutura. O que justifica a derivação de uma estrutura fatorial cruzada com tratamentos adicionais de uma estrutura fatorial cruzada completa?
7. O que significa uma estrutura de fatores de unidade.
8. Ilustre diversas formas de estrutura de fatores de unidade com exemplos de sua área.
9. No delineamento de experimento costuma-se fazer distinção entre fator experimental de tratamento, cujos níveis são atribuídos aleatoriamente às unidades experimentais, fator experimental intrínseco, cuja manifestação dos níveis é inerentes às unidades experimentais, e fator de unidade, que corresponde a um agrupamento das unidades de observação com o propósito de controle local. Ilustre cada um desses fatores, recorrendo a exemplos de sua área de interesse.
10. Descreva o delineamento experimental apropriado para cada um dos quatro exemplos da **Seção Erro!** A origem da referência não foi encontrada..
11. Ilustre com um exemplo de sua área e descreva cada um dos seguintes delineamentos experimentais:
 - a) Delineamento completamente casualizado com um fator experimental e uma observação por unidade experimental.
 - b) Delineamento completamente casualizado com um fator experimental e mais de uma observação por unidade experimental.
 - c) Delineamento completamente casualizado com mais de um fator experimental e uma observação por unidade experimental.
 - d) Delineamento blocos casualizados com um fator experimental e uma observação por unidade experimental.
 - e) Delineamento blocos casualizados com um fator experimental e mais de uma observação por unidade experimental.
 - f) Delineamento blocos casualizados com mais de um fator experimental e uma observação por unidade experimental.
12. Qual é a condição necessária para que a adoção do delineamento blocos casualizados para um experimento seja preferível ao delineamento completamente casualizado para uma mesma estrutura de fatores experimentais.
13. Suponha que é desejado conduzir um experimento para a comparação dos efeitos de quatro antibióticos para o controle de uma infecção de cavalos, com seis repetições de cada tratamento. Os antibióticos serão aplicados individualmente aos animais.

Indique o delineamento experimental mais adequado para cada uma das situações que seguem. No caso de delineamento experimental que imponha controle local ou controle estatístico, indique as características estranhas que devem ser controladas através de cada um desses dois métodos.

 - a) Dispõe-se de um número suficiente de animais considerados homogêneos para os propósitos do experimento.
 - b) Os animais disponíveis são heterogêneos quanto à idade, mas podem ser classificados em seis grupos cada um deles com animais de mesma idade e uniformes quanto às demais características.

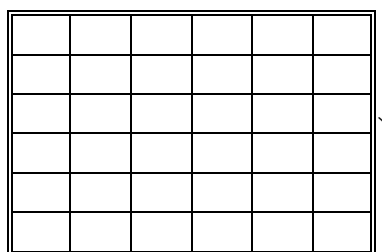
- c) Os animais disponíveis são heterogêneos quanto à idade, mas podem ser classificados em seis grupos cada um deles com animais de mesma idade. Entretanto, animais de um mesmo grupo apresentam pesos corporais consideravelmente distintos.
- d) Comente sobre a conveniência da inclusão de um controle, testemunha ou placebo entre os tratamentos do experimento em consideração.
14. Um experimento deve ser conduzido para a comparação de 6 gramíneas forrageiras, designadas A, B, C, D, E e F. Suponha que o pesquisador tem a sua disposição para escolha 4 terrenos com dimensões apropriadas para 36 unidades experimentais, dispostas em um quadrado, com as seguintes características básicas do material experimental:

i) Terreno homogêneo:



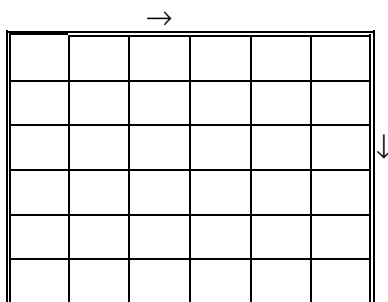
Delineamento:

ii) Terreno com um gradiente de heterogeneidade:



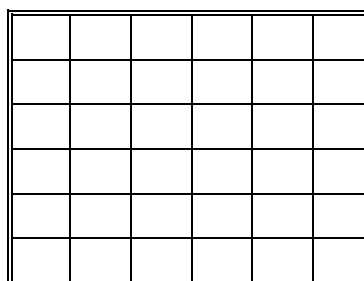
Delineamento:

iii) Terreno com dois gradientes de heterogeneidade perpendiculares:



Delineamento:

iv) Terreno heterogêneo, mas sem gradiente conhecido:



Delineamento:

- a) Que delineamento experimental você utilizaria para cada uma dessas 4 situações alternativas? (Indique o delineamento no lugar próprio, abaixo do correspondente croqui.)
- b) Indique, para cada uma das 4 situações, no próprio croqui acima, uma distribuição típica dos tratamentos (A, B, C, D, E e F) que poderia resultar do processo de casualização apropriado, identificando, se for o caso, os agrupamentos formados, contornando com lápis, o conjunto de parcelas de cada grupo.
- c) Qual é o inconveniente de utilizar o delineamento para a situação i nas condições de heterogeneidade do material experimental (situação ii, por exemplo)?
- d) Qual é o inconveniente de adotar o delineamento para a situação iii no caso em que o material experimental corresponde à situação iv?
15. Decida se cada uma das seguintes sentenças é verdadeira ou falsa, colocando, entre parênteses, as letras V ou F, respectivamente. Se a sentença for falsa, explique porque.
- 1 () O delineamento experimental é um plano para a coleta de informações através do experimento.
 - 2 () A estrutura de condições experimentais também pode ser denominada de estrutura de tratamentos.
 - 3 () Um nível de um fator experimental é um tratamento.

- 4 () Uma estrutura de condições experimentais pode ser convenientemente representada em uma tabela.
- 5 () Não há distinção essencial entre fator de tratamento e fator intrínseco.
- 6 () Uma estrutura fatorial cruzada de dois fatores incompleta ou fracionária pode ser representada em uma tabela de duas entradas.
- 7 () Uma estrutura fatorial cruzada de dois fatores experimentais com tratamentos adicionais pode ser representada em uma tabela de duas entradas.
- 8 () Algumas estruturas fatoriais cruzadas fracionárias de três fatores podem ser representadas em uma tabela de duas entradas.
- 9 () Qualquer agrupamento das unidades de observação compreende um fator de unidade.
- 10 () A estrutura das unidades de um experimento depende do número de tratamentos.
- 11 () A presença de fator experimental intrínseco é sempre considerada no estabelecimento da estrutura das unidades de um experimento.
- 12 () A estrutura das unidades correspondente ao delineamento completamente casualizado não compreende qualquer agrupamento das unidades de observação.
- 13 () Uma estrutura de unidades compreende, sempre, pelo menos um fator de unidade.
- 14 () No delineamento blocos casualizados a estrutura das unidades compreende pelo menos um agrupamento das unidades de observação.
- 15 () Um delineamento experimental particular resulta da relação estrutural das condições experimentais com a estrutura das unidades da amostra.
- 16 () A correspondência entre os níveis de um fator experimental e os níveis de um fator de unidade é sempre determinada pela casualização.
- 17 () A correspondência entre os tratamentos e os níveis do fator de unidade que lhe são associados na estrutura do experimento é sempre determinada pela casualização.
- 18 () Os níveis de um fator de unidade são as unidades experimentais para o fator experimental com cujos níveis mantém relação de correspondência.
- 19 () As unidades experimentais para dois fatores experimentais podem ser as mesmas.
- 20 () Os tratamentos são sempre atribuídos aos níveis de um mesmo fator de unidade.
- 21 () Uma estrutura de experimento completamente casualizada não compreende qualquer agrupamento das unidades de observação. Portanto, nessa estrutura não há fator de unidade.
- 22 () Em um delineamento em blocos casualizados o fator de unidade bloco é cruzado com o fator experimental.
- 23 () O delineamento quadrado latino é uma estrutura de experimento que resulta de controle local duplo.
- 24 () Uma estrutura de experimento com dois fatores de unidade resulta de controle local duplo; portanto é um delineamento quadrado latino.
- 25 () Uma estrutura de experimento completamente casualizada não pode compreender mais de uma observação por unidade experimental.

Conceitos e Termos Chave

- Estrutura das condições experimentais
- Estrutura unifatorial
- Estrutura fatorial cruzada completa
- Estrutura fatorial cruzada incompleta / fracionária
- Estrutura fatorial cruzada estendida
- Relação fatorial hierárquica / aninhada balanceada
- Relação fatorial hierárquica / aninhada balanceada
- Estrutura de unidades de experimentos de ampla abrangência: estruturas fatoriais hierárquica balanceada, hierárquica não balanceada e mista.
- Estrutura do experimento / delineamento do experimento
- Delineamentos completamente casualizados uni ou multifatoriais com uma observação por parcela
- Delineamentos com blocos completos casualizados uni ou multifatoriais com

- Estrutura fatorial hierárquica / aninhada não balanceada
- Estrutura fatorial mista
- Fator de unidade / fator de agrupamento
- Estrutura das unidades
- Estrutura de unidades de experimentos de abrangência restrita: delineamentos completamente casualizado, blocos casualizados e quadrado latino
- Estrutura de unidades de experimentos de observações múltiplas
- Estrutura de unidades de experimentos de observações repetidas
- uma observação por parcela
- Delineamentos quadrados latinos uni ou multifatoriais com uma observação por parcela
- Delineamentos com blocos incompletos casualizados uni ou multifatoriais com uma observação por parcela
- Delineamentos com parcelas divididas com uma observação por parcela
- Delineamentos com blocos divididos em faixas
- Delineamentos experimentais com observações múltiplas ou observações repetidas na unidade experimental elementar
- Delineamentos de experimentos de ampla abrangência, repetidos no espaço e no tempo

Bibliografia

- COCHRAN, W. G. **Planning & analysis of observational studies**. New York: John Willey, 1983. 145p.
- COX, D. R. **Planning of experiments**. New York: John Wiley, 1958. 308p.
- COX, D. R.; SNELL, E. J. **Applied statistics, principles and examples**. Londres: Chapman and Hall, 1981. 189p.
- CHRISTENSEN, L. B. **Experimental methodology**. 7.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 590p.
- FINNEY, D. J. **An introduction to statistical science in agriculture**. 4.ed. Copenhagen: Scandinavian University Books, 1972. 290p.
- FISHER, R. A. The arrangement of field experiments. **Journal of the Ministry of Agriculture of Great Britain**, v.33, p.503-513, 1926.
- FISHER, R. A. **The design of experiments**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1935. 248p.
- FISHER, R. A. Recent progress in experimental design. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL INSTITUTE OF INTELLECTUAL COOPERATION, Geneva, p.19-31, 1939.
- FEDERER, W. T. Statistics and society, data collection and interpretation. New York: Marcel Dekker, 1973. 399p.
- KEMPTHORNE, O. Why randomize? **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.1, p.1-25, 1977.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. Huntigton, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1979. 631 p.
- KEMPTHORNE, O. Sampling inference, experimental inference and observation inference. **Sankhya**, 40, Serie B, Parts 3 and 4, p.115 145, 1979.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley, 1994. v.1, 495p.

- KISH, L. Sample surveys versus experiments, controlled observations, census, registers, and local studies. **Australian Journal of Statistics**, v.27, n.2, p.111-122, 1985.
- KISH, L. **Statistical design for research**. New York: John Wiley, 1987. 267p.
- LECLERG, E. L.; LEONARD, W. H.; CLARK, A. G. **Field plot technique**. 2.ed. Minneapolis: Burgess Publishing Company, 1962. ? p.
- LORENZEN, T. J.; ANDERSON. V. L. **Design of experiments; a non-named approach**. New York: Marcel Dekker, 1993. 414p.
- PEARCE, S. C. **The agricultural field experiment; a statistical examination of theory and practice**. Chichester: John Wiley, 1983. 335p.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**, versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Física e Matemática, 1996. 427p.
- URQUHART, N. S. The anatomy of a study. **Hortscience**, v.16, n.5, p.621-627, 1981.
- WILSON, E. B. **An introduction to scientific research**. New York: McGraw-Hill, 1952. 373p.

Apêndice

Tabela A-1. Dez mil dígitos aleatórios.

	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
00	88758	66605	33843	43623	62774	25517	09560	41880	85126	60755
01	35661	42832	16240	77410	20686	26656	59698	86241	13152	49187
02	26335	03771	46115	88133	40721	06787	95962	60841	91788	86386
03	60826	74718	56527	29508	91975	13695	25215	72237	06337	73439
04	95044	99896	13763	31764	93970	60987	14692	71039	34165	21297
05	83746	47694	06143	42741	38338	97694	69300	99864	19641	15083
06	27998	42562	63402	10056	81668	48744	08400	83124	19896	18805
07	82685	32323	74625	14510	85927	28017	80588	14756	54937	76379
08	18386	13862	10988	04197	18770	72757	71418	81133	69503	44037
09	21717	13141	22707	68165	58440	19187	08421	23872	03036	34208
10	18446	83052	31842	08634	11887	86070	08464	20565	74390	36541
11	66027	75177	47398	66423	70160	16232	67343	36205	50036	59411
12	51420	96779	54309	87456	78967	79638	68869	49062	02196	55109
13	27045	62626	73159	91149	96509	44204	92237	29969	49315	11804
14	13094	17725	14103	00067	68843	63565	93578	24756	10814	15185
15	92382	62518	17752	53163	63852	44840	02592	88572	03107	90196
16	16215	50809	49326	77232	90155	69955	93892	70445	00906	57002
17	09342	14528	64727	71403	84156	34083	35613	35670	10549	07468
18	38148	79001	03509	79424	39625	73315	18811	86230	99682	82896
19	23689	19997	72382	15247	80205	58090	43804	94548	82693	22799
20	25407	37726	73099	51057	68733	75768	77991	72641	95386	70138
21	25349	69456	19693	85568	93876	18661	69018	10332	83137	88257
22	02322	77491	56095	03055	37738	18216	81781	32245	84081	18436
23	15072	33261	99219	43307	39239	79712	94753	41450	30944	53912
24	27002	31036	85278	74547	84809	36252	09373	69471	15606	77209
25	66181	83316	40386	54316	29505	86032	34563	93204	72973	90760
26	09779	01822	45537	13128	51128	82703	75350	25179	86104	40638
27	10791	07706	87481	26107	24857	27805	42710	63471	08804	23455
28	74833	55767	31312	76611	67389	04691	39687	13596	88730	86850
29	17583	24038	83701	28570	63561	00098	60784	76098	84217	34997
30	45601	46977	39325	09286	41133	34031	94867	11849	75171	57682
31	60683	33112	65995	64203	18070	65437	13624	90896	80945	71987
32	29956	81169	18877	15296	94386	16317	34239	03643	66081	12242
33	91713	84235	75296	69875	82414	05197	66596	13083	46278	73498
34	85704	86588	82837	67822	95963	83021	90732	32661	64751	83903
35	17921	26111	35373	86494	48266	01888	65735	05315	79328	13367
36	13929	71341	80488	89827	48277	07229	71953	16128	65074	28782
37	03248	18880	21667	01311	61806	80201	47889	83052	31029	06023
38	50583	17972	12690	00452	93766	16414	01212	27964	02766	28786
39	10636	46975	09449	45986	34672	46916	63881	83117	53947	95218
40	43896	41278	42205	10425	66560	59967	90139	73563	29875	79033
41	76714	80963	74907	16890	15492	27489	06067	22287	19760	13056
42	22393	46719	02083	62428	45177	57562	49243	31748	64278	05731
43	70942	92042	22773	47761	13503	16037	30875	80754	47491	96012
44	92011	60326	86346	26738	01983	04186	41388	03848	78354	14964
45	66456	00126	45685	67607	70796	04889	98128	13599	93710	23974
46	96292	44348	20898	02227	76512	53185	03057	61375	10760	26889
47	19680	07146	53951	10935	23333	76233	13706	20502	60405	09745
48	67347	51442	24536	60151	05498	64678	87569	65066	17790	55413
49	95888	59255	06898	99137	50871	81265	42223	83303	48694	81953

Continua.

Tabela A-1. Dez mil dígitos aleatórios (Continuação).

	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99
00	70896	44520	64720	49898	78088	76740	47460	83150	78905	59870
01	56809	42909	25853	47624	29486	14196	75841	00393	04239	24847
02	66109	84775	07515	49949	61482	91836	48126	80778	21302	24975
03	18071	36263	14053	52526	44374	04923	68100	57805	16521	15345
04	98732	15120	91754	12657	74675	78500	01247	49719	47635	55514
05	36075	83967	22268	77971	31169	68584	21336	72541	66959	39708
06	04110	45061	78062	18911	27855	09419	56459	00695	70323	04538
07	75658	58509	24479	10202	13150	95946	55087	38398	18718	95561
08	87403	19142	27208	35149	34889	27003	14181	44813	17784	41036
09	00005	52142	65021	64438	69610	12154	98422	65320	79996	01935
10	43674	47103	48614	70823	78252	82403	93424	05236	54588	27757
11	68597	68874	35567	98463	99671	05634	81533	47406	17228	44455
12	91874	70208	06308	40719	02772	69589	79936	07514	44950	35190
13	73854	19470	53014	29375	62256	77488	74388	53949	49607	19816
14	65926	34117	55344	68155	38099	56009	03513	05926	35584	42328
15	40005	35246	49440	40295	44390	83043	26090	80201	02934	49260
16	46686	29890	14821	69783	34733	11803	64845	32065	14527	38702
17	02717	61518	39583	72863	50707	96115	07416	05041	36756	61065
18	17048	22281	35573	28944	96889	51823	57268	03866	27658	91950
19	75304	53248	42151	93928	17343	88322	28683	11252	10355	65175
20	97844	62947	62230	30500	92816	85232	27222	91701	11057	83257
21	07611	71163	82212	20653	21499	51496	40715	78952	33029	64207
22	47744	04603	44522	62783	39347	72310	41460	31052	40814	94297
23	54293	43576	88116	67416	34908	15238	40561	73940	56850	31078
24	67556	93979	73363	00300	11217	74405	18937	79000	68834	48307
25	86581	73041	95809	73986	49408	53316	90841	73808	53421	82315
26	28020	86282	83365	76600	11261	74354	20968	60770	12141	09539
27	42578	32471	37840	30872	75074	79027	57813	62831	54715	26693
28	47290	15997	86163	10571	81911	92124	92971	80860	41012	58666
29	24856	63911	13221	77028	06573	33667	30732	47280	12926	67276
30	16352	24836	60799	76281	93402	44709	78930	82969	84468	36910
31	89060	79852	97854	28324	39638	86936	06702	74304	39873	19496
32	07637	30412	04921	26471	09605	07355	20466	49793	40539	21077
33	37711	47786	37468	31963	16908	50283	80884	08252	72655	58926
34	82994	53232	58202	73318	62471	49650	15888	73370	98748	69181
35	31772	67288	12110	04776	15168	68862	92347	90789	66961	04162
36	93819	78050	19364	38037	25706	90879	05215	00260	14426	88207
37	65557	24496	04713	23688	26623	41356	47049	60676	72236	01214
38	88001	91382	05129	36041	10257	55558	89979	58061	28957	10701
39	96648	70303	18191	62404	26558	92804	15415	02865	52449	78509
40	04118	51573	59356	02426	35010	37104	98316	44602	96478	08433
41	19317	27753	39431	26996	04465	69695	61374	06317	42225	62025
42	37182	91221	17307	68507	85725	81898	22588	22241	80337	89033
43	82990	03607	29560	60413	59743	75000	03806	13741	79671	25416
44	97294	21991	11217	98087	79124	52275	31088	32085	23089	21498
45	86771	69504	13345	42544	59616	07867	78717	82840	74669	21515
46	26046	55559	12200	95106	56496	76662	44880	89457	84209	01332
47	39689	05999	92290	79024	70271	93352	90272	94495	26842	54477
48	83265	89573	01437	43786	52986	49041	17952	35035	88985	84671
49	15128	35791	11296	45319	06330	82027	90808	54351	43091	30387

Continua.

Tabela A-1. Dez mil dígitos aleatórios (Continuação).

	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
50	54441	64681	93190	00993	62130	44484	46293	60717	50239	76319
51	08573	52937	84274	95106	89117	65849	41356	65549	78787	50442
52	81067	68052	14270	19718	88499	63303	13533	91882	51136	60828
53	39737	58891	75278	98046	52284	40164	72442	77824	72900	14886
54	34958	76090	08827	61623	31114	86952	83645	91786	29633	78294
55	61417	72424	92626	71952	69709	81259	58472	43409	84454	88648
56	99187	14149	57474	32268	85424	90378	34682	47606	89295	02420
57	13130	13064	36485	48133	35319	05720	76317	70953	50823	06793
58	65563	11831	82402	46929	91446	72037	17205	89600	59084	55718
59	28737	49502	06060	52100	43704	50839	22538	56768	83467	19313
60	50353	74022	59767	49927	45882	74099	18758	57510	58560	07050
61	65208	96466	29917	22862	69972	35178	32911	08172	06277	62795
62	21323	38148	26696	81741	25131	20087	67452	19670	35898	50636
63	67875	29831	59330	46570	69768	36671	01031	95995	68417	68665
64	82631	26260	86554	31881	70512	37899	38851	40568	54284	24056
65	91989	39633	59039	12526	37730	68848	71399	28513	69018	10289
66	12950	31418	93425	69756	34036	55097	97241	92480	49745	42461
67	00328	27427	95474	97217	05034	26676	49629	13594	50525	13485
68	63986	16698	82804	04524	39919	32381	67488	05223	89537	59490
69	55775	75005	57912	20977	35722	51931	89565	77579	93085	06467
70	24761	56877	56357	78809	40748	69727	56652	12462	40528	75269
71	43820	80926	26795	54553	28319	25376	51795	26123	51102	89853
72	66669	02880	02987	33615	54206	20013	75872	88678	17726	60640
73	49944	66725	19779	50416	42800	71733	82052	28504	15593	51799
74	71003	87598	61296	95019	21568	86134	66096	65403	47166	78638
75	52715	04593	69484	93411	38046	01300	04293	60830	03914	75357
76	21998	31729	89963	11573	49442	69467	40265	56066	36024	25705
77	58970	96827	18377	31564	23555	86338	79250	43168	96929	97732
78	67592	59149	42554	42719	13553	48560	81167	10747	92552	19867
79	18298	18429	09357	96436	11237	88039	81020	00428	75731	37779
80	88420	28841	42628	84647	59024	52032	31251	72017	43875	48320
81	07627	88424	23381	29680	14027	75905	27037	22113	77873	78711
82	37917	63581	04979	21041	95252	62450	05937	81670	44894	47262
83	14783	95119	68464	08726	74818	91700	05961	23554	74649	50540
84	05378	32640	64562	15303	13168	23189	88198	63617	58566	56047
85	19640	96709	22047	07825	40583	99500	39989	96593	32254	37158
86	20514	11081	51131	56469	33947	77703	35679	45774	06776	67062
87	96763	56249	81243	62416	84451	14696	38195	70435	45948	67690
88	49439	61075	31558	59740	52759	55323	95226	01385	20158	54054
89	16294	50548	71317	32168	86071	47314	65393	56367	46910	51269
90	31381	94301	79273	32843	05862	36211	93960	00671	67631	23952
91	98032	87203	03227	66021	99666	98386	39222	36056	81992	20121
92	40700	31826	94774	11366	81391	33602	69608	84119	93204	26825
93	68692	66849	29366	77540	14978	06508	10824	65416	23629	63029
94	19047	10784	19607	20296	31804	72984	60060	50353	23260	58909
95	82867	69266	50733	62630	00956	61500	89913	30049	82321	62367
96	26528	28928	52600	72997	80943	04084	86662	90025	14360	64867
97	50066	00607	49962	30724	81707	14548	25844	47336	57492	02207
98	97245	15440	55182	15386	85136	98869	33712	95152	50973	98658
99	54998	88830	95639	45104	72676	28220	82576	57381	34438	24565

Continua.

Tabela A-1. Dez mil dígitos aleatórios (Continuação).

	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99
50	58649	85086	16502	97541	76611	94229	34987	86718	87208	05426
51	97306	52449	55596	66739	36525	97563	29469	31235	79276	10831
52	09942	79344	78160	11015	55777	22047	57615	15717	86239	36578
53	83842	28631	74893	47911	92170	38181	30416	54860	44120	73031
54	73778	30395	20163	76111	13712	33449	99224	18206	51418	70006
55	88381	56550	47467	59663	61117	39716	32927	06168	06217	45477
56	31044	21404	15968	21357	30772	81482	38807	67231	84283	63552
57	00909	63837	91328	81106	11740	50193	86806	21931	18054	49601
58	69882	37028	41732	37425	80832	03320	20690	32653	90145	03029
59	26059	78324	22501	73825	16927	31545	15695	74216	98372	28547
60	38573	98078	38982	33078	93524	45606	53463	20391	81637	37269
61	70624	00063	81455	16924	12848	23801	55481	78978	26795	10553
62	49806	23976	05640	29804	38988	25024	76951	02341	63219	75864
63	05461	67523	48316	14613	08541	35231	38312	14969	67279	50502
64	76582	62153	53801	51219	30242	32599	49099	83959	68408	20147
65	16660	80470	75062	75588	24384	27874	20018	11428	32265	07692
66	60166	42424	97470	88451	81270	80070	72959	26220	59939	31127
67	28953	03272	31460	41691	57736	72052	22762	96323	27616	53123
68	47536	86439	95210	96386	38704	15484	07426	70675	06888	81203
69	73457	26657	36983	72410	30244	97711	25652	09373	66218	64077
70	11190	66193	66287	09116	48140	37669	02932	50799	17255	06181
71	57062	78964	44455	14036	36098	40773	11688	33150	07459	36127
72	99624	67254	67302	18991	97687	54099	94884	42283	63258	50651
73	97521	83669	85968	16135	30133	51312	17831	75016	80278	68953
74	40273	04838	13661	64757	17461	78085	60094	27010	80945	66439
75	57260	06176	49963	29760	69546	61336	39429	41985	18572	98128
76	03451	47098	63495	71227	79304	29753	99131	18419	71791	81515
77	62331	20492	15393	84270	24396	32962	21632	92965	38670	44923
78	32290	51079	06512	38806	93327	80086	19088	59887	98416	24918
79	28014	80428	92853	31333	32648	16734	43418	90124	15086	48444
80	18950	16091	29543	65817	07002	73115	94115	20271	50250	25061
81	17403	69503	01866	13049	07263	13039	83844	80143	39048	62654
82	27999	50489	66613	21843	71746	65868	16208	46781	93402	12323
83	87076	53174	12165	84495	47947	60706	64034	31635	65169	93070
84	89044	45974	14524	46906	26052	51851	84197	61694	57429	63395
85	98048	64400	24705	75711	36232	57624	41424	77366	52790	84705
86	09345	12956	49770	80311	32319	48238	16952	92088	51222	82865
87	07086	77628	76195	47584	62411	40397	71857	54823	26536	56792
88	93128	25657	46872	11206	06831	87944	97914	64670	45760	34353
89	85137	70964	29947	27795	25547	37682	96105	26848	09389	64326
90	32798	39024	13814	98546	46585	84108	74603	94812	73968	68766
91	62496	26371	89880	52078	47781	95260	83464	65942	91761	53727
92	62707	81825	40987	97656	89714	52177	23778	07482	91678	40128
93	05500	28982	86124	19554	80818	94935	61924	31828	79369	23507
94	79476	31445	59498	85132	24582	26024	24002	63718	79164	43556
95	10653	29954	97568	91541	33139	84525	72271	02546	64818	14381
96	30524	06495	00886	40666	68574	49574	19705	16429	90981	08103
97	69050	22019	74066	14500	14506	06423	38332	34191	82663	85323
98	27908	78802	63446	07674	98871	63831	72449	42705	26513	19883
99	64520	16618	47409	19574	78136	46047	01277	79146	95759	36781

Tabela A-2. Pontos percentuais da distribuição t (de Student).

□	Pontos bilaterais superiores: Prob.($ t > t_p$)								
	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,61
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
35	0,682	0,852	1,052	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	3,591
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
45	0,680	0,850	1,048	1,301	1,680	2,014	2,412	2,690	3,520
50	0,680	0,849	1,047	1,299	1,676	2,008	2,403	2,678	3,496
55	0,679	0,849	1,047	1,297	1,673	2,004	2,396	2,669	3,476
60	0,679	0,848	1,046	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
70	0,678	0,847	1,045	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	3,435
80	0,678	0,847	1,044	1,293	1,665	1,989	2,374	2,638	3,416
90	0,678	0,846	1,043	1,291	1,662	1,986	2,369	2,631	3,402
100	0,677	0,846	1,042	1,290	1,661	1,982	2,365	2,625	3,390
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
200	0,676	0,844	1,039	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,340
500	0,676	0,843	1,037	1,284	1,648	1,965	2,334	2,586	3,310
1000	0,675	0,842	1,037	1,283	1,647	1,962	2,330	2,581	3,301
Inf.	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291
□	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
	Pontos unilaterais superiores: Prob.($t > t_p$)								

Tabela A-3. Probabilidades de caudas direitas da distribuição normal padrão:
 $\text{Prob.}(Z > z_p)$.¹

z	Segunda casa decimal de z									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2276
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2297	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
2,9	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010

¹ Uma célula desta tabela expressa a probabilidade de um valor da variável aleatória Z com distribuição normal padrão maior do que o valor z cuja parte inteira e primeira casa decimal é indicada na margem direita e segunda casa decimal na margem superior. Por exemplo, $P(Z > 0,0495) = 1,65$.

Quadrados latinos padrões

Os quadrados latinos padrões usados para o processo de casualização descrito na **Seção 10.7.4.2** são apresentados a seguir.

Os números que figuram sob os quadrados latinos são os números de ordem que lhes correspondem. Quando aparecem dois números sob um mesmo quadrado, o primeiro é o número de ordem do quadrado indicado e o segundo é o número de ordem do seu conjugado (quadrado latino obtido do primeiro mudando as filas em colunas e as colunas em filas, na mesma ordem).

Quadrados latinos 3 x 3

A	B	C
B	C	A
C	A	B

Quadrados latinos 4 x 4

A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
B	A	D	C	B	C	D	A	B	D	A	C
C	D	B	A	C	D	A	B	C	A	D	B
D	C	A	B	D	A	B	C	D	C	B	A
	1			2				3			4

Quadrados latinos 5 x 5

A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
B	A	E	C	D	B	A	D	E	C	B	C	D	E	A
C	D	A	E	B	C	E	B	A	D	C	D	E	A	B
D	E	B	A	C	D	C	E	B	A	D	E	B	C	A
E	C	D	B	A	E	D	A	C	B	E	C	A	B	D
	1,2				3,4					5,6				7,8

A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
B	C	D	E	A	B	C	E	A	D	B	C	E	A	D
C	E	A	B	D	C	D	B	E	A	C	A	E	B	D
D	A	E	C	B	D	E	B	C	A	D	E	A	C	B
E	D	B	A	C	E	A	D	B	C	E	D	B	A	C
	11,12				13,14					15,16				17,18

A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
B	C	A	E	D	B	D	E	C	A	B	D	E	C	A
C	D	E	B	A	C	A	B	E	D	C	E	D	B	A
D	E	B	A	C	D	E	A	B	C	D	C	E	A	B
E	A	D	C	B	E	C	D	A	B	E	A	B	C	D
	21,22				23,24					25,26				27,28

A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
B	D	E	A	C	B	D	A	E	C	B	E	D	A	C
C	E	D	B	A	C	E	A	B	D	C	A	B	E	D
D	C	A	E	B	D	C	B	E	A	D	C	E	B	A
E	A	B	C	D	E	C	D	B	A	E	D	A	C	B
	31,32				33,34					35,36				37,38

39,40

A B C D E B E A C D C D E B A D A B E C E C D A B 41,42	A B C D E B E D C A C A E B D D C A E B E D B A C 43,44	A B C D E B E D C A C D E A B D A B E C E C A B D 45,46	A B C D E B E A C D C D B E A D C E A B E A D B C 47,48	A B C D E B E D A C C D A E B D C E B A E A B C D 49,50
--	--	--	--	--

A B C D E B C E A D C E D B A D A B E C E D A C B 51	A B C D E B C D E A C D E A B D E A B C E A B C D 52	A B C D E B D E C A C E B A D D C A E B E A D B C 53	A B C D E B D A E C C A E B D D E B C A E C D A B 54	A B C D E B E D A C C D B E A D A E C B E C A B D 55
---	---	---	---	---

A B C D E
B E A C D
C A D E B
D C E B A
E D B A C
56

Quadrados latinos 6 x 6

A B C D E F B C F A D E C F B E A D D E A B F C E A D F C B F D E C B A 1,2	A B C D E F B C F E A D C F B A D E D E A B F C E A D F C B F D E C B A 3	A B C D E F B A F E C D C F B A D E D C E B F A E D A F B C F E D C A B 4	A B C D E F B A E F C D C F B A D E D E A B F C E D F C B A F C D E A B 5	A B C D E F B A E C F D C F B A D E D E F B C A E D A F B C F C D E A B 6,7
---	---	---	---	---

A B C D E F B A F E C D C F B A D E D E A B F C E C D F B A F D E C A B 8	A B C D E F B C D E F A C E A F B D D F B A C E E D F B A C F A E C D B 9	A B C D E F B A E F C D C F A E D B D C B A F E E D F C B A F E D B A C 10,11	A B C D E F B A E F C D C F A B D E D E B A F C E D F C B A F C D E A B 12	A B C D E F B C F A D E C F B E A D D A E B F C E D A F C B F E D C B A 13
---	---	---	--	--

A B C D E F B C A F D E C A B E F D D F E B A C E D F C B A F E D A C B 14,15	A B C D E F B C A E F D C A B F D E D E F B A C E F D A C B F D E C B A 16	A B C D E F B C A F D E C A B E F D D F E B A C E D F A C B F E D C B A 17	A B C D E F B C A E F D C A B F D E D F E B A C E D F C B A F E D A C B 18	A B C D E F B A F E D C C D A B F E D F E A C B E C B F A D F E D C B A 19,20
---	--	--	--	---

A B C D E F B A E C F D C E A F D B D C F A B E E F D B A C F D B E C A 21	A B C D E F B C A F D E C A B E F D D E F A B C E F D C A B F D E B C A 22
--	--

Quadrados latinos 7 x 7

A B C D E F G	A B C D E F G	A B C D E F G	A B C D E F G
B E A G F D C	B E A G F D C	B F E G C A D	B C D E F G A
C F G B D A E	C F G B D A E	C D A E B G F	C D E F G A B
D G E F C B A	D G E F B C A	D C G A F E B	D E F G A B C
E D B C A G F	E D B C A G F	E G B F A D C	E F G A B C D
F C D A G E B	F C D A G E B	F A D C G B E	F G A B C D E
G A F E B C D	G A F E C B D	G E F B D C A	G A B C D E F
(a)	(b)	(c)	(d)

Quadrados latinos de 8 x 8 a 12 x 12

A B C D E F G H	A B C D E F G H I	A B C D E F G H I J
B C A E F D H G	B C E G D I F A H	B G A E H C F I J D
C A D G H E F B	C D F A H G I E B	C H J G F B E A D I
D F G C A H B E	D H A B F E C I G	D A G I J E C B F H
E H B F G C A D	E G B I C H D F A	E F H J I G A D B C
F D H A B G E C	F I H E B D A G C	F E B C D I J G H A
G E F H C B D A	G F I C A B H D E	G I F B A D H J C E
H G E B D A C F	H E G F I A B C D	H C I F G J D E A B
	I A D H G C E B F	I J D A C H B F E G
		J D E H B A I C G F
8 x 8	9 x 9	10 x 10

A B C D E F G H I J K
B A J I D C F K H G E
C K H A B I J F D E G
D C G J I K E B F A H
E J B G K H D C A I F
F E I C G A K J B H D
G F D B H J A I E K C
H I K F A D B E G C J
I D E H J B C G K F A
J G A K F E H D C B I
K H F E C G I A J D B
11 x 11

A B C D E F G H I J K L
B L G C D J K E H A F I
C K A B F L I D G H J E
D F I A L E C G J B H K
E D F G J K A L C I B H
F H K E G C D B A L I J
G I D F K H J A L C E B
H E L J C A B I K D G F
I J B L H G F K D E A C
J C E K A I H F B G L D
K G J H I B L C E F D A
L A H I B D E J F K C G
12 x 12