

## Crescimento urbano e hidrografia natural: conflitos e articulações no espaço-tempo.

### Resumo

É crescente a necessidade de estudos que abordem o ambiente urbano e o natural de forma integrada, onde bacias hidrográficas são unidades da paisagem **potenciais para redução dos conflitos** que ocorrem entre os diferentes sistemas. Pressupondo a cidade como um fenômeno complexo, de onde emergem padrões morfológicos de organização espacial, análises sobre a dinâmica do crescimento urbano possibilitam uma melhor compreensão do fenômeno, seus processos e conflitos que ocorrem com os demais sistemas de entorno. O trabalho apresenta uma **revisão sobre os paradigmas que pautam o manejo das águas urbanas** e sobre a trajetória da **teoria urbana**, as quais indicam uma convergência aos estudos da **ecologia urbana e suas configurações morfológicas**; apresenta também uma descrição empírica da evolução urbana do **caso Pelotas-RS** [1815-1965], com especial atenção às questões da hidrografia natural e do saneamento urbano. A partir de reflexões sobre como o manejo das águas urbanas e os atributos da hidrografia podem influir sobre a configuração espacial urbana, a contribuição do trabalho está em **indicar configurações articuladas à paisagem natural** de suporte como um caminho para melhor compatibilizar os sistemas urbanos e naturais.

**Palavras chave:** ecologia urbana; morfologia urbana; hidrografia.

## 1. Introdução.

A dinâmica do crescimento urbano ocorre através da permanente conversão do uso do solo e do consumo de recursos naturais, em um processo onde se alteram a cidade e a paisagem natural de modo sincrônico. Diante do processo de expansão urbana, modificações ocorrem no ciclo hidrológico natural, principalmente através de alterações na geomorfologia das bacias hidrográficas e no aumento da superfície impermeável do solo, que somados os impactos de despejos sanitários não tratados e os assentamentos humanos em locais ambientalmente frágeis, transformam a hidrografia, os recursos hídricos e os demais atributos naturais associados.

Tradicionais abordagens do planejamento da paisagem têm dificuldade de estabelecer as interinfluências que ocorrem na dinâmica da cidade sobre o ambiente natural. De um lado tradicionais ideias do urbanismo sanitarista foram dominantes nos últimos séculos, realizando intervenções estruturais, canalizando, represando e transpondo corpos hídricos com o objetivo de drenar e sanear os ambientes; assim, possibilitando o processo de expansão urbana em nome da cidade compacta (Jenks e Burgess, 2000). Por outro lado, planejadores ambientais indicam os recursos hídricos como estruturantes no processo de crescimento urbano e sua preservação é vital a manutenção da vida humana no planeta (Alberti *et al*, 2003). Em uma perspectiva ampliada, associando os campos do urbanismo, da ecologia urbana e da ecologia da paisagem, o paradigma da ciência ambiental está na necessidade de estudar as relações espaciais que decorrem da dinâmica do crescimento urbano sobre o ambiente natural de suporte, não só com o objetivo do planejamento urbano em si, mas visando uma melhor compreensão do fenômeno urbano e as possibilidades de melhor compatibilização com o ambiente natural e o sistema de recursos hídricos.

Pressupondo a cidade como um fenômeno complexo, de onde emergem padrões morfológicos de organização espacial, o presente trabalho pretende identificar relações entre a morfologia urbana e a paisagem natural definida pela hidrografia. Para isto, o trabalho parte de uma revisão sobre as formas que tradicionalmente tem sido trabalhada a gestão das águas urbanas, suas perspectivas e trajetórias contemporâneas convergentes à valorização do planejamento urbano. Na sequência, faz uma breve revisão da trajetória da teoria configuracional urbana, a qual indica uma convergência dos estudos da ecologia urbana e à fragmentação morfológica, as quais contemporaneamente ocorrem articuladas à dinâmica espacial e à paisagem natural. Por fim, o trabalho apresenta uma abordagem empírico-descritiva do crescimento urbano da cidade de Pelotas, delimitado temporalmente entre 1815 e 1965, com especial atenção aos aspectos espaciais da paisagem natural definida pela hidrografia e o histórico do saneamento urbano do município.

A partir do presente trabalho fica indicada a existência de uma convergência espaço-temporal entre a morfologia urbana, formações da paisagem definida pela hidrografia e práticas do saneamento das águas urbanas. A principal contribuição do trabalho está no enunciado de um movimento de expansão urbana que ocorre a partir de alternâncias na morfologia urbana e espacialmente articulado a formações da paisagem natural definida pela hidrografia. Esta alternância morfológica do crescimento urbano, definindo movimentos de compactação e fragmentação urbana, ocorridos em distintas etapas da evolução urbana ou em diferentes lugares da cidade está associada espacialmente às resistências e privilégios locais definidos pela paisagem natural de suporte à urbanização.

## **2. Aproximação teórica:**

### **gestão dos recursos hídricos, planejamento e teorias urbanas.**

#### **2.1. Sistemas de águas urbanas e a desarticulação com o sistema urbano.**

Tradicionalmente a gestão da drenagem urbana tem sido tratada prioritariamente associada aos aspectos qualitativos da urbanização interna às bacias hidrográficas. Entretanto, as enchentes devido à urbanização estão associadas não só ao aumento da superfície impermeável, mas também pela ocupação de áreas de inundação ribeirinha, áreas de cheias naturais ou leitos maiores dos cursos d'água (Alberti *et al*, 2003). Contrário ao modo que comumente é abordada, a ocorrência de cheias das linhas de drenagem é um processo inerente ao ciclo hidrológico natural, pois todo curso d'água ou linha de drenagem é caracterizado por um regime de não permanência de vazões.

Neste contexto, a definição conceitual de leitos maiores e menores dos recursos hídricos é adotada por estudos hidrológicos para melhor definir linhas de drenagem. Porém, não são medições diretas de níveis ou áreas de inundações. São níveis determinados por fatores probabilísticos traduzidos por sua correspondência em número de anos. Ou seja, se o leito maior de um curso d'água for indicado para um tempo de retorno (TR) de 10 anos, significa que este nível de cheia provavelmente se repita a cada 10 anos, ou a cada ano esta enchente tem 10% de chance de voltar a ocorrer (Tucci, 2005).

Sendo os leitos maiores dos rios associados a um fator probabilístico de ocorrência, geralmente com variações em décadas, surge uma grande defasagem temporal entre os diferentes sistemas, hídrico e urbano. Além disso, áreas naturalmente propensas à inundação são de difícil entendimento e percepção pelo senso comum, e geralmente um dado descartado na elaboração de políticas do uso do solo urbano. Desta forma, é possível afirmar que a partir da diferença temporal que ocorre entre a dinâmica continuada do crescimento urbano

e tempo de retorno dos recursos hídricos em cheias máximas são decorrentes a maioria dos conflitos espaciais de uso e ocupação de áreas de fragilidade dos sistemas hídricos.

### ***A (des)estruturação do manejo das águas urbanas.***

Desde as primeiras formas de agrupamentos urbanos até cidades do início do século XIX, quando a sociedade ainda era de predominância agrícola; urbanistas, planejadores e pensadores urbanos tinham a água apenas como um desafio para manutenção das condições sanitárias no interior das cidades. Bastavam cuidados mínimos com sistemas de coleta e transporte dos esgotos domésticos e pluviais para que condições de higiene urbana mínimas fossem mantidas. Somente ao fim da segunda Revolução Industrial, entre os séculos 19 e 20, com o aumento de populações convivendo nas cidades, questões de saneamento e saúde pública passam a ter um papel importante sobre a infraestrutura urbana. Intervenções urbanas de caráter higienista-sanitarista são inauguradas por volta de 1850 pelas reformas do Barão de Haussmann na cidade de Paris, passando a formar o paradigma dominante do manejo das águas urbanas até a metade do século 20. Neste período, cidades investem em sistemas de coleta e transposição das águas urbanas, realizando grandes intervenções estruturais sobre os recursos hídricos naturais e possibilitando o processo de expansão urbana prioritariamente de forma concêntrica e compacta (Jenks e Burgess, 2000).

Somente a partir das décadas de 60 e 70, a sociedade passa a demonstrar preocupações com os impactos urbanos sobre o ambiente natural. A partir do marco da aprovação do “*Clean Water Act*” (Lei da Água Limpa) em 1970 nos Estados Unidos, passou-se a adotar medidas de correção dos impactos sobre o ciclo hidrológico natural, complementares às estruturas já existentes. Por outro lado, da necessidade de se preservar os recursos naturais remanescentes, o manejo das águas urbanas passa a ocorrer também a partir de medidas não estruturais; ou seja, medidas que não se utilizem de grandes intervenções e visam a redução da ocorrência de enchentes e adequada disposição das águas urbanas (Tucci, 2005).

A partir dos anos 90, com a busca por meios do alcançar o “desenvolvimento sustentável”, diante da ineficácia dos sistemas não estruturais da gestão de águas urbanas, o manejo de águas urbanas passa a resgatar o uso de medidas estruturais no controle de enchentes. Diferentes das medidas estruturais características do período higienista-sanitarista, medidas estruturais deste período estão dedicadas a diminuir velocidades de escoamento e manter os níveis de drenagem natural, através da construção de bacias de retenção em diferentes escalas, ocorrendo desde grandes piscinões até medidas de proteção individual (“*flood proofing*”) (Tucci, 2005).

Contemporaneamente, a partir do documento chamado *World Water Vision* (Visão Mundial da Água, 2000), elaborado no fórum mundial da água ocorrido no ano 2000 na cidade Haia, gestores hídricos sugerem que as ações do manejo estejam cada vez com mais pautadas com ênfase na preservação do recurso, onde soluções para os sistemas de águas urbanas não estejam apenas no “*end of pipe*” (final dos condutos). A partir deste contexto, o manejo dos recursos hídricos atualmente deve priorizar medidas não estruturais, pautadas pela valorização das ações de planejamento urbano pró-ativo, onde se faz necessário trabalhar a forma em que ocorre o desenvolvimento urbano, gerenciando de modo integrado a infraestrutura, a morfologia urbana e as linhas de drenagem naturais (Tucci, 2005).

Em outras palavras, o manejo das águas urbanas nos dias atuais deve priorizar a adoção de medidas não estruturais, possibilitadas por práticas de planejamento urbano pró-ativas, capazes de induzir o crescimento urbano sobre áreas de menor fragilidade ambiental, compatibilizando a dinâmica do crescimento urbano e preservação dos recursos hídricos, valorizando áreas de maior importância do ambiente natural como leitos de drenagem, possibilitando que a água escoe o mais próximo de seu curso, velocidade e volume natural (Tucci, 2005). Em suma, o paradigma atual da gestão de águas urbanas está em ações que envolvam medidas estruturais de reduzidos impactos, mas prioritariamente ocorra por medidas não estruturais possibilitadas por efetivas ações de planejamento e controle do uso do solo.

## **2.2. Aproximação à ecologia: emergência, auto-organização e resiliência urbana.**

Analogias entre os sistemas urbanos e ecológicos foram pioneiramente aplicados à realidade urbana por autores da escola de Chicago (Park e Burgess, 1925), quando se utilizavam dos mecanismos de competição e cooperação ecológica para compreender forças de organização intraurbana, em uma dinâmica que conduziria o fenômeno urbano a um estado de ordem sócio-espacial. De modo distinto, o que existe hoje é um consenso que são justamente estes mecanismos de competição e cooperação que mantêm o sistema urbano em constante desequilíbrio, em tempos que ecologia e urbanismo simultaneamente passam a encarar a quebra no equilíbrio como uma forma de manutenção da vitalidade e dinâmica, intrínsecos aos seus respectivos sistemas. Contemporaneamente, a retomada dos estudos integrados entre urbanismo e ecologia é possibilitada por uma abordagem conceitual mais ampla, superando meras relações de semelhança inauguradas na década de 20 pela escola de Chicago, ocorrendo através da convergência das ciências naturais e sociais aos conceitos comuns da teoria de sistemas e auto-organização (Portugali, 2000; Alberti *et al*, 2003; Buzai, 2003).

Separadamente, tanto as ciências sociais quanto as ciências naturais tem adotado as ciências complexas para estudar fenômenos emergentes (Portugali, 2000; Alberti *et al*, 2003).

Até a metade do século 20, estruturas complexas, dentre estas a cidade, foram tratadas como se funcionassem como máquinas, ignorando o alto grau de determinação e aleatoriedade que ocorrem nos subsistemas e nas decisões individuais dos seus agentes. Atualmente, o que se percebe é uma mudança na forma de abordar cidades e sociedades, como organismos que crescem continuamente e suas modificações podem ser apenas direcionadas, induzidas e raramente projetadas no sentido *top-down* (de cima para baixo). O que se sustenta é que as cidades crescem como um fenômeno emergente, a partir da ação de milhares de indivíduos, um comportamento capaz de gerar estruturas complexas e virtualmente impossíveis de serem geridas, controladas e planejadas de cima para baixo. O paradigma da complexidade dirige o foco de *top-down*, para *bottom-up*, concentrando-se em ações e decisões em escala e relações locais, ao invés de medidas globais (Batty, 2007).

Estudos associados à auto-organização urbana têm indicado a cidade como o maior artefato produzido pela ação humana (Portugali, 2000) e ao longo de mais de 3.000 anos de história, demonstra fortes evidências de permanência ao longo dos tempos (Vale e Campanella, 2005). Neste sentido, padrões de auto-organização da cidade não estão associados a arranjos geométricos visualmente atraentes (como ocorrem em outros sistemas complexos), mas são propriedades estruturais discretas compartilhadas por todas as cidades, desde Jerusalém a.c. até megalópoles contemporâneas (Portugali, 2000). Sob esta perspectiva, o que tem sido indicado é que a permanência urbana ao longo dos tempos está associada à suas propriedades enquanto fenômeno complexo, portanto intrínseco à dinâmica do crescimento urbano, que lhe confere capacidades de se auto-organizar estruturas capazes de suportar situações adversas, o que tem sido referido pela ecologia urbana em termos da resiliência (Alberti *et al*, 2003; Vale e Campanella, 2005). A partir desta **ocorre o paradigma da sustentabilidade para a ciência urbana, o qual está em abordar os problemas urbanos pressupondo a cidade como um processo dependente de múltiplos fatores**, extrapolando o universo estritamente urbano para abranger o contexto da região, onde se faz cada vez mais necessária a articulação entre cidade e ambiente a partir de abordagens espaço-temporais (Portugali, 2000; Batty, 2007; 2009).

### **2.3. Teorias urbanas, dinâmicas e a convergência à paisagem natural.**

A teoria urbana, em sua curta e recente produção, tem procurado explicar o fenômeno urbano através de modelos e teorias, sendo mais ainda mais recentes os estudos dedicados a explicar a dinâmica espacial emergente e a consequente descontinuidade da forma urbana (Portugali, 2000). O crescimento urbano é objeto de estudo desde as primeiras teorias locais surgidas na primeira metade do séc. XX, onde diversos autores buscaram explicar a cidade baseando-se em lógicas causa-efeito, a partir de um único ponto de vista: ecológico,

econômico ou social. São recentes os enunciados a respeito da dinâmica do crescimento urbano à luz das teorias da complexidade e da auto-organização, sendo ainda mais contemporâneas aproximações da morfologia urbana à escala espacial da paisagem natural (Batty e Longley, 2004; Czamanski *et al.*, 2008; respectivamente).

As primeiras teorias locais urbanas foram lançadas ainda no séc. XIX por von Thünen, abordando o fenômeno baseadas no princípio econômico da maximização dos lucros. Posteriormente as ideias de Thünen são resgatadas por Alonso (1964, figura 1a) no modelo da cidade econômica, representando-a espacialmente a partir de uma sucessão de anéis concêntricos com maiores vantagens locais àquelas atividades econômicas capazes de obter a mais valia do uso do solo. A configuração urbana a partir de anéis concêntricos também foi associado às relações ecológicas pela escola de Chicago (Park e Burgess, 1925, figura 1b), bem como pelas posteriores adaptações setoriais propostas por Hoyt (1959, figura 1c). O mesmo caminho do pensamento concêntrico da cidade está no modelo proposto por Christaller (1933, figura 1d) na Teoria do Lugar Central, diferenciando-se dos demais modelos por abordar o planejamento do território em escala regional e a partir da ocorrência de multicentralidades.

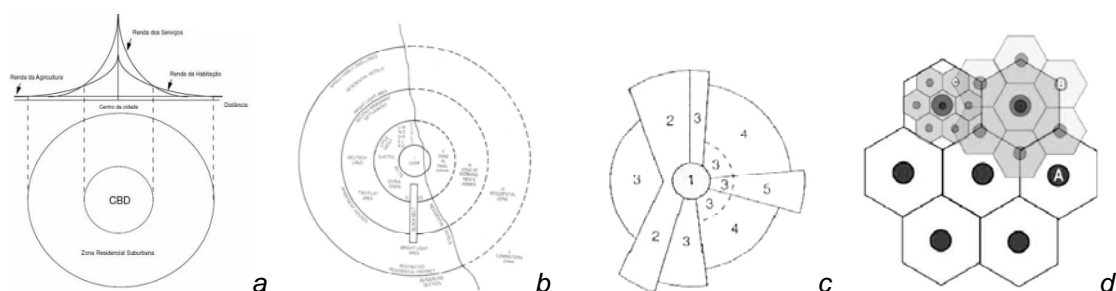


Fig. 1: modelos urbanos concêntricos:  
a) Alonso, 1964; b) Park e Burgess, 1925; c) Hoyt, 1959; d) Christaller, 1933.

Entretanto, estas originais teorias locais urbanas que mostraram-se incapazes de descrever dinâmicas temporais do crescimento urbano, principalmente pela limitação de suas configurações estáticas, estão resgatadas por geógrafos e economistas, autores como Fujita e Mori (1997), sob a luz das teorias da complexidade e da auto-organização, caracterizando a *New Economic Geography* (NEG - Nova Geografia Econômica). A “abordagem evolutiva dos sistemas urbanos” (Fujita e Mori, 1997) sugere que a validade da teoria urbana ocorre a partir da releitura de sua trajetória, relacionando-a com uma espécie de processo evolutivo. A partir da NEG, trabalhos como de Janoschka (2002) tem explicado com sucesso a descontinuidade espacial e o fenômeno da suburbanização das cidades latino-americanas, apoiados na releitura dinâmico-evolutiva dos modelos de Alonso, Park e Burgess, Hoyt e Christaller, ilustrados na figura 1 anterior.

Contemporaneamente aos enunciados da NEG, outra vertente da teoria urbana tenta explicar a descontinuidade espacial sob a lógica geométrico-morfológica da dimensão fractal. A Cidade Fractal (*Fractal City* – Batty e Longley, 1994) revelaria semelhanças geométricas entre os espaços construídos e abertos, quando observados tanto em baixas, quanto em altas resoluções; sugerindo que a auto-organização da macro estrutura urbana estaria associada a regras de micro escala da cidade. Batty e Longley (1994) verificaram empiricamente a dimensão fractal em diversas cidades pelo mundo, enunciando um grande potencial de abordagem dinâmica, que de imediato atraiu a atenção de diversos pesquisadores ao final da década de 90. Atualmente a dimensão fractal urbana cai em desuso, principalmente pelo descrédito científico e os pelos alertas de Benguigui *et al.* (2000), onde os autores ao estudar a dimensão fractal da cidade de Tel Aviv, inauguram o pensamento da teoria urbana atual, onde regras fractais não se mostram capazes de abordar a dinâmica espacial urbana.

Outra vertente da teoria urbana diferencia o crescimento urbano de acordo com a localização geográfica do objeto de estudo, onde a expansão urbana tem sido tratada nos países de primeiro mundo em termos do *sprawl*, enquanto nos países de terceiro mundo este movimento está associado a um processo de periferização. Tanto o processo do *urban sprawl* quanto o fenômeno da periferização são formas de crescimento urbano caracterizadas pela segregação sócio-espacial (Torrens e Alberti, 2000; Barros, 2004; respectivamente). Mesmo sendo tratados separadamente de acordo com o contexto geográfico, contrapondo-se à ideia que fenômeno urbano apresenta características similares e fundamentais desde suas origens (Portugali, 2000), teorias a respeito do *sprawl* e da periferização são amplamente abordados pela ciência urbana na primeira década do século 21 e muito reproduziram a ótica econômica e compacta da cidade, evidenciando os aspectos negativos do crescimento associados aos custos de viagem, infraestrutura e consumo de recursos naturais (Czamanski *et al.*, 2008).

Contemporaneamente, grande parte dos estudos dedicados às dinâmicas do crescimento urbano e a descontinuidade espacial emergente ainda estão associados ao fenômeno do *sprawl*. Entretanto, são cada vez maiores estudos que indicam o fenômeno do *sprawl* como um processo inevitável do crescimento das cidades e até certo ponto um estado desejável da evolução natural do sistema urbano, com recentes associações aos movimentos ecológicos e adaptados à escala da paisagem natural (Czamanski *et al.*, 2008). Deste modo, após estudos dedicados ao *urban sprawl* e a dimensão fractal urbana da cidade de Tel Aviv; Benguigui, Benenson, Czamanski, Portugali e demais pesquisadores do Complex City Research Lab (<http://www.eslab.tau.ac.il/>) tem realizados importantes estudos sobre as possibilidades de compatibilizar a descontinuidade espacial urbana ao ecossistema natural, associando o crescimento urbano a um processo *Leapfrogging*. (Benguigui *et al.*, 2001).



O termo que tem origem a partir de uma brincadeira infantil de realizar saltos impulsionados por obstáculos é absorvido pelas teorias econômicas para traduzir crescimentos dados por inovações em situações desfavoráveis. Assim, a expansão urbana associada ao movimento *leapfrogging* corresponde a uma dinâmica da morfologia urbana capaz de configurar uma sucessão de espaços abertos, semelhantes às teorias fractais e do *urban sprawl*. Deste modo, a descontinuidade espacial emergente do crescimento urbano pode estar associada à locais de maior valorização ambiental, articulando a dinâmica do crescimento à paisagem do ambiente natural e assim reduzindo os efeitos da pegada ecológica urbana (Czamanski *et al.*, 2008).

No mesmo caminho, Tjallingii (2005) tem se dedicado a levantar estratégias que podem ser aplicadas para um desenvolvimento urbano adaptado a paisagem natural, indicando tanto a presença dos recursos hídricos como sistema de transportes, fluxos essenciais aos processos urbanos. O autor propõe um modelo urbano que articula espacialmente a rede de transportes e o sistema dos recursos hídricos com a finalidade de apoiar a tomada de decisão de investimentos em sistemas de transportes, escolha de locais para habitação e manutenção de áreas verdes. Segundo Tjallingii (2005), é tarefa urgente à teoria urbana alcançar consenso sobre a unidade espacial básica ao crescimento urbano, onde um caminho está lançado, tratando de compatibilizar investimentos na estrutura viária à dimensão espacial das linhas de drenagem e divisores de águas dos recursos hídricos.

Recentemente em um dos editoriais do periódico *Environment and Planning: B*, v.36, Batty (2009) apresenta a ideia de *catastrophic cascades*, onde propõe um desafio à teoria urbana dedicada à dinâmica de mudança, o qual está em descobrir elementos discretos presentes nos sistemas urbanos que catalisam a dinâmica através de um “efeito cascata”. Segundo o autor, a dinâmica urbana seriam decorrente não apenas de um ou poucos atributos, mas sim por uma infinidade de fatores que sobrepostos seriam capazes de influenciar de modo global na descontinuidade espacial do sistema urbano. São estes múltiplos atores associados a questões econômicas, sociais e ambientais, que configuram o fenômeno urbano enquanto sistema complexo e possibilitam o desencadeamento de rápidas mudanças sobre continuidade espacial emergente.

Este enunciado permite entender que o desafio da ciência urbana estaria em superar a definição de quais os fatores que compõem o sistema urbano enquanto sistema complexo, dedicando-se a estudar quais seriam os pontos, ou locais, onde o sistema converge para a transição de fases. Absorvendo as ideias de *catastrophic cascades* (Batty, 2009) este trabalho procura abordar morfologia urbana e suas relações com a paisagem natural, onde é possível pressupor que a partir de um efeito cascata os recursos hídricos atuem como pontos de convergência, indicadores da transição de fases na dinâmica espacial urbana.

### ***Superação do Plano Isotrópico e a paisagem natural como campo de irregularidades.***

Para que ocorram efetivas abordagens entre cidade e ambiente - crescimento urbano e hidrografia; há de se superar abordagens urbanas a partir de planos isotrópicos (Nystuen, 1968). O conceito de isotropia da paisagem é uma forma de abstração do ambiente natural que desconsidera os aspectos da paisagem natural nos processos urbanos, onde o ambiente natural não apresenta nenhuma forma de resistência ao crescimento urbano e todos os solos urbanos são considerados igualmente férteis. Diferentemente, a paisagem natural e os seus atributos representam o ambiente antecessor da cidade, funcionando como um campo de irregularidades que impõem diferentes intensidades de resistência a urbanização, influenciando a forma do crescimento urbano em curto e em longo prazos, tanto na micro como na macro escala (Polidori, 2004). Estas irregularidades são capazes de impor maiores ou menores restrições ao processo de urbanização, geralmente correspondem às linhas de drenagem dos recursos hídricos, locais propícios a inundações, à insalubridade e ocorrência de solos de baixa resistência. Por outro lado, na escala da hidrografia natural, junto aos divisores de água ocorrem os locais ambientalmente favoráveis à ocorrência da urbanização; em solos mais altos, bem drenados e longe das dificuldades impostas junto às áreas baixas, adjacentes às linhas de drenagem.

A partir desta diferenciação da paisagem definida pela hidrografia natural, à medida que a cidade cresce de forma concêntrica, a partir da conversão de espaços não urbanizados imediatamente adjacentes a área urbanizada, tende-se a deparar-se com locais de maior resistência à conversão urbana e valorização do ambiente natural, como ocorrem junto às linhas de drenagem dos recursos hídricos. Neste momento, o crescimento urbano passa a ocorrer em outras áreas do sistema, permitindo a manutenção do contínuo processo de produção espacial que define o fenômeno urbano. Nesta dinâmica, é possível pressupor que ocorram fragmentos ou vazios urbanos associados espacialmente aos atributos do ambiente natural, emergentes da dinâmica do crescimento urbano frente às irregularidades do plano de suporte. Este resultado sugere reconhecer os vazios urbanos como componentes estruturais da cidade, onde dinâmicas morfológicas urbanas que associem a ocorrência de urbanização remota e a manutenção de locais de resistência natural podem ser entendida como um mecanismo de auto-organização da cidade, que ocorrem articulados à paisagem natural de suporte e lhe confere um fator de permanência ao longo dos tempos (Alberti *et al.*, 2003; Polidori, 2004).

### 3. Evolução urbana e hidrografia:

#### descrição empírica e morfologia urbana para o caso Pelotas [1815-1965].

Sob o ponto de vista geográfico, a cidade de Pelotas situa-se na Encosta do Sudeste, ao sul do Estado do Rio Grande do Sul (RS), às margens do estuário da Lagoa dos Patos. Encontra-se em um ponto que corresponde no sistema de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) ao fuso 22 sul, 373.081 metros a leste e 6.484.343 metros ao sul. Sob o ponto de vista da divisão hidrográfica do Estado, a cidade se situa na bacia hidrográfica Mirim – São Gonçalo, a qual compartilha águas internacionais com o Uruguai, tem o canal São Gonçalo como a principal linha de drenagem e se caracteriza por seu regime de escoamento que sazonalmente tem o sentido invertido em função dos períodos de seca na Lagoa Mirim e influência do nível do mar sobre a Lagoa dos Patos.

O Estado do Rio Grande do Sul teve o seu processo de ocupação territorial e formações urbanas ocorrido de modo diferenciado entre regiões das serras do norte e os campos do sul. Nas cidades da região sul, os sistemas de rios, lagos e lagoas foram fatores decisivos no processo de ocupação territorial, onde as baixas altitudes, a ausência de declividades e a ocorrência de áreas alagadiças configuravam um cenário de dificuldades à urbanização e deslocamentos pelo território (Souza, 2000). A importância das condições da paisagem, da topografia e a presença dos recursos hídricos estão representadas a seguir no mapa (figura 2a) e nas aquarelas (figuras 2b e 2c) elaboradas pelo viajante alemão Wendroth (1852), que retratam a dificuldades impostas pelos recursos hídricos na travessia e deslocamentos pelo território.



Figura 2: ilustrações do viajante alemão Hermann Rudolf Wendroth (1852) à região do RS que retratam a importância dos da topografia e dos recursos hídricos na configuração da paisagem.

Não diferente das demais cidades do sul do Estado, na região de Pelotas os padrões da paisagem natural foram dominantes desde a primeira doação de terras ocorrida no ano de

1758, constando no acervo do Arquivo do Estado Maior do Exército como “terras desde o Rio Santa Bárbara, Rio das Pelotas, até a ponta de *Canguçu*, limitando-se a sudeste pela barra do Canal São Gonçalo” (Cruz, 1984). Neste local, as primeiras divisões de terras correspondem ao trecho do Escudo Cristalino do final da Serra do Mar, com altitudes variadas entre 100 e 400m, onde os morros e a topografia ligeiramente elevada do final da Serra de Tapes de imediato são atrativos para as atividades de pecuária. Já a porção da Planície Costeira, áreas baixas da planície sedimentar, naturalmente configuradas e delimitadas pelos recursos hídricos, em um segundo momento configuram um local propício à implantação do sítio charqueador, que ao final do século XVIII é atraído para a região pelas possibilidades de escoamento dos dejetos e da produção, instalando-se às margens do arroio Pelotas e do canal São Gonçalo. Por este período a região de Pelotas passa a ter todo o seu território partilhado por propriedades particularmente interessadas nas margens dos recursos hídricos (Gutierrez, 2004).

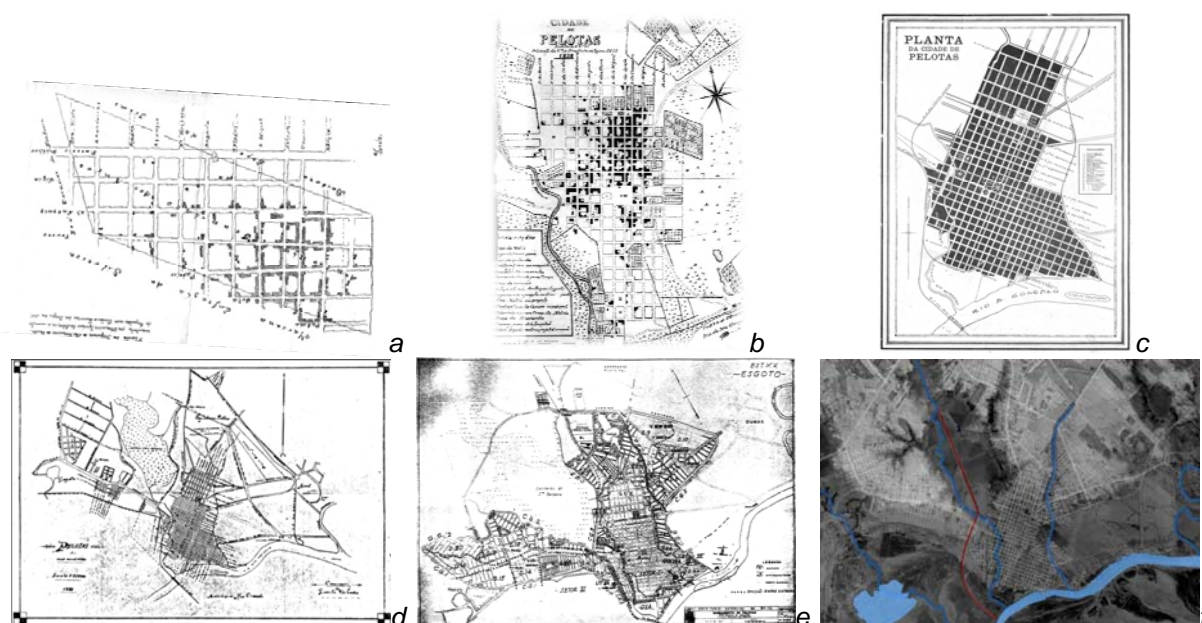


Figura 3: plantas urbanas da cidade de Pelotas-RS, a) 1815; b) 1835; c) 1916; d) 1927; e) 1947; f) 1965.

### 3.1. Núcleo urbano central: de concêntrico a setorial. [1815 – 1865]

No ano de 1815, para localização do primeiro núcleo urbano (figura 3a, anterior), mesmo levando em conta os *arraias* de casas preexistentes e localizados próximos aos recursos hídricos, foi escolhido o planalto entre o arroio Santa Bárbara a oeste, o canal de São Gonçalo ao sul e o arroio Pelotas a leste (Gutierrez, 2004). Neste “*terreno ligeiramente levantado para se pudesse esgotar e assear as ruas*”, na “*lomba não alagadiça até a caída para o Santa Bárbara*”, foram traçadas 12 ruas em uma área aproximada de 53 ha (Cruz, 1984).



No ano de 1835, ano em que a vila de São Francisco de Paula é elevada a condição de cidade, foi apresentada uma segunda planta urbana (figura 3b, anterior), um plano de expansão adjacente da primeira planta da cidade (1815; figura 3a, anterior), com ruas que se prolongavam em direção ao sul até as margens do canal São Gonçalo e eram acrescentadas outras 15 ruas transversais (Gutierrez, 2004).

A figura 4, a seguir, apresenta a estrutura da paisagem da região de Pelotas por volta do ano 1835. Nota-se a área urbana configurada por uma malha regular, ao final do cordão arenoso de altitudes médias entre os arroios Santa Bárbara e Pepino. Localizada sobre o terraço plano e elevado, a área urbana não ocupava áreas baixas junto aos leitos dos recursos hídricos onde eram maiores as restrições da paisagem à conversão urbana.



*Figura 4: estrutura da paisagem da cidade de Pelotas no ano de 1835; destacando área urbana e estradas; topografia de terraços planos e áreas baixas;linhas de drenagem do recursos hídricos.*

Por este período o crescimento da cidade de Pelotas se associava à uma morfologia concêntrica, ligeiramente alongada que acompanhava o sentido dos arroios Pepino e Santa Bárbara. Esta ideia de cidade concêntrica que caracteriza a expansão da cidade de Pelotas no período entre 1815-1865 pode ser relacionada aos modelos concêntricos da teoria clássica, como os modelos ecológicos da escola de Chicago (1921) e lugar central (CBD) de Alonso (1964) (apresentadas no subtítulo 2.3).

### **3.2. A cidade invade os rios: expansão e limiares ambientais. [1865 – 1915]**

À medida que a cidade cresce, avança em direção aos locais de topografia baixa, ocupando cada vez mais os leitos maiores dos recursos hídricos. Mesmos com certa diferenciação interna e acessos viários definidos, o crescimento continua a ocorrer imediatamente adjacente a área já urbanizada, replicando morfologias de crescimento concêntrico. Ocupam-se áreas de várzeas do banhado do Santa Bárbara (NO), junto à foz deste referido arroio (SO)

e na região do porto (SE). Além destas áreas de várzea, o crescimento urbano ocorre junto ao curso alto e as nascentes do arroio Pepino (NE) (Gutierrez, 2004).

Ao ocupar áreas alagadiças e imediatamente adjacentes às linhas de drenagem, como a cidade ainda não apresenta um sistema de coleta e tratamento de esgotos, por este período ocorre também um aumento na taxa de mortalidades relacionadas às doenças de veiculação hídrica, transmitidas por deficiências no saneamento e na drenagem urbana (SANEP, 1988). Não de forma casual, é por este período que surgem as primeiras manifestações com as questões de saneamento urbano na cidade de Pelotas. Em 1861 ocorre a primeira tentativa da contratação de um serviço de sondagem e perfuração de um poço artesiano que acabou por não ser realizado e no ano de 1874 é inaugurada a primeira obra de abastecimento de água na cidade, quando esta contava com 2.487 casas e uma população em torno de 12 mil habitantes (SANEP, 1988).

Também é possível especular sobre a convergência cronológica do crescimento urbano ocorrendo em áreas de fragilidade ambiental, a ocorrência de doenças de veiculação hídrica e intervenções estruturais de retificação e canalização do arroio Santa Bárbara. Em 1880, o terreno junto ao arroio Santa Bárbara, entre as pontes de Pedra e de Madeira (entre as ruas Floriano e Lobo da Costa) foi doado ao município para implantação de uma praça, quando o arroio foi imediatamente desviado e o seu leito natural aterrado, desfazendo sua forte inflexão em direção a leste. Já no ano de 1881 foi apresentada uma primeira proposta de canalização total do arroio Santa Bárbara (Gutierrez, 2004). Mais do que aumentar a área da praça entre as pontes de Pedra e Madeira, estas primeiras intervenções sobre o curso natural do arroio Santa Bárbara são demonstrações diretas do paradigma higienista-sanitarista e do manejo das águas urbanas baseadas em intervenções estruturais, como está apresentado no subtítulo 2.1. Antes mesmo de ser implementado um sistema de coleta de esgotos no interior da cidade, estas medidas estruturais visavam principalmente acelerar a velocidade de escoamento das águas e afastar águas contaminadas das populações que ali se instalavam.

Somente em 1911 foi construído um sistema de coleta de esgotos, quando Pelotas contava com 37 mil habitantes e 7.100 unidades construídas, destas apenas 2.000 com abastecimento de água encanada e a mortalidade girava em torno de 1.400 pessoas por ano. O sistema de esgotos inaugurado tinha capacidade para coletar 4.600 unidades centrais e o esgoto coletado, sem nenhuma forma de tratamento, era despejado *in natura* no canal São Gonçalo, junto a foz do arroio Pepino (SANEP, 1988).

### **3.3. Expansão urbana: difusão, fragmentação; captura e transposição. [1915 – 1965]**

Partindo do núcleo original, a forma urbana passa a ocupar toda a área definida desde as margens do arroio Pepino até as margens do arroio Santa Bárbara (figura 3c, anterior). A partir deste período, do ano de 1915, os loteamentos na cidade passam a ocorrer pontualmente, em pequena escala e de modo fragmentado, além dos limites dados pelos recursos hídricos e localizados próximos às vias de acesso da cidade (Gutierrez, 2004). A respeito desta forma de crescimento que caracteriza o terceiro momento da evolução urbana da cidade de Pelotas, podem ser identificadas duas principais questões. A primeira é a convergência temporal com o período que o crescimento concêntrico definitivamente passa a ocupar áreas junto aos leitos de drenagem dos recursos hídricos, onde certos limiares ambientais são atingidos, provocando um colapso no saneamento urbano e o aumento das taxas de mortalidades por doenças de veiculação hídrica. Outra questão é que a ocorrência deste padrão de crescimento, difuso e fragmentado, mesmo promovidos por agentes urbanos individuais (investidores, industriários ou prefeitura), repetirem os mesmos critérios de escolha do sítio para implantação do núcleo urbano original; ou seja, ocorrem sobre novos divisores de água, em terraços planos e bem drenados, longe dos problemas de insalubridade que haviam junto aos recursos hídricos.

No ano de 1926 foi contratado o eng. Saturnino de Brito para elaborar um plano de saneamento da cidade (figura 3d, anterior). No ano de 1947, o engenheiro foi novamente contratado para realizar um novo projeto (figura 3e, anterior), o qual previa um plano de expansão urbana para 31 mil casas, onde foram traçadas avenidas de contorno da cidade, consolidando e indicando o crescimento ao longo dos eixos oeste, norte e leste em direção aos bairros da cidade (SANEP, 1988). Planos elaborados pelo mesmo autor apresentados nos anos 1926 (figura 3d, anterior) e 1947 (figura 3e, anterior), permitem um panorama de como ocorre o crescimento urbano por este período.

Mesmo com a definição dos vetores de crescimento ao longo dos eixos viários e a ocorrência de loteamentos difusos para além das linhas de drenagem dos recursos hídricos, reproduz-se a lógica de crescimento concêntrico, indiscriminadamente ocupando os vazios intraurbanos ainda existentes e adota medidas estruturais sobre os recursos hídricos que ainda resistiam ao processo de expansão urbana. O pensamento higienista-sanitarista dominante neste período é determinante para que, enfim, ocorram as sempre desejadas obras de canalização do arroio Pepino e a transposição do Santa Bárbara no ano de 1965. Nas imagens aéreas do referido ano (figura 3f, anterior) está registrado o momento que ocorre a captura e transposição do leito natural do arroio Santa Bárbara, a qual coincide temporalmente com o cenário final proposto para o trabalho.

### **3.4. Da evolução urbana de Pelotas.**

Portanto, a partir desta abordagem empírico-descritiva, pode-se afirmar que desde a primeira doação de terras, nas primeiras partilhas de terras, na implantação do sítio charqueador, na escolha do sítio para implantação do núcleo urbano e nos movimento de expansão urbana; a cidade Pelotas tem sua estrutura espacial ligada às questões ambientais, principalmente relacionadas com os recursos hídricos e as possibilidades de saneamento do ambiente. Áreas adjacentes aos recursos hídricos, que inicialmente são deixadas como “sobras” da primeira divisão de terras, passam a atrair os espaços de produção econômica do charque. No sentido inverso, a insalubridade e o ambiente desfavorável que caracterizavam o entorno das charqueadas, passam a repulsar o processo de urbanização, que elege locais altos, planos e bem drenados, com a devida salubridade e distância dos rios e arroios para instalar suas casas.

Por fim, cabe ressaltar a já indicada correlação da análise empírica da evolução urbana da cidade de Pelotas com uma “abordagem evolutiva dos modelos da teoria urbana clássica”, proposta por autores da Nova Geografia Econômica como Fujita e Mori (1997) e aplicado por Janoschka (2002) para o caso da cidade de Buenos Aires. No caso da cidade de Pelotas, o crescimento urbano em um primeiro momento (1815-1865, abordado título 4.1.2) ocorre de forma concêntrica, promovendo a conversão urbana em territórios imediatamente adjacentes, permitindo associação aos modelos e teorias concêntricas da escola de Chicago (Park e Burgess, 1925) e Alonso (1964), conforme apresentado na coluna “a” da figura 5, a seguir. No momento em que são definidos os acessos viários, a expansão urbana avança sobre as linhas de drenagem naturais dos recursos hídricos e o porte do sistema urbano permite uma forma de diferenciação intraurbana, a morfologia urbana do período está associada ao modelo setorial de Hoyt (1939). Neste período (1865-1915, descrito no título 4.1.3), os acessos urbanos indicam futuros vetores de crescimento, em um momento que o crescimento urbano deixa de ocorrer exclusivamente concêntrico e passa a ocorrer de modo difuso, fragmentado, adjacentes a estas vias de acesso, conforme estão na coluna “b” da figura 5, a seguir. Por fim, ao consolidar novos núcleos urbanos além dos limites dos recursos hídricos, em novos visores de águas, configurando uma forma urbana mais fragmentada, indicando a ocorrência de multicentralidades, a morfologia urbana (1915 -1965, no título 4.1.4) permite associação à Teoria do Lugar Central de Christaller (1933), estes relacionados na coluna “c” figura 5, a seguir.



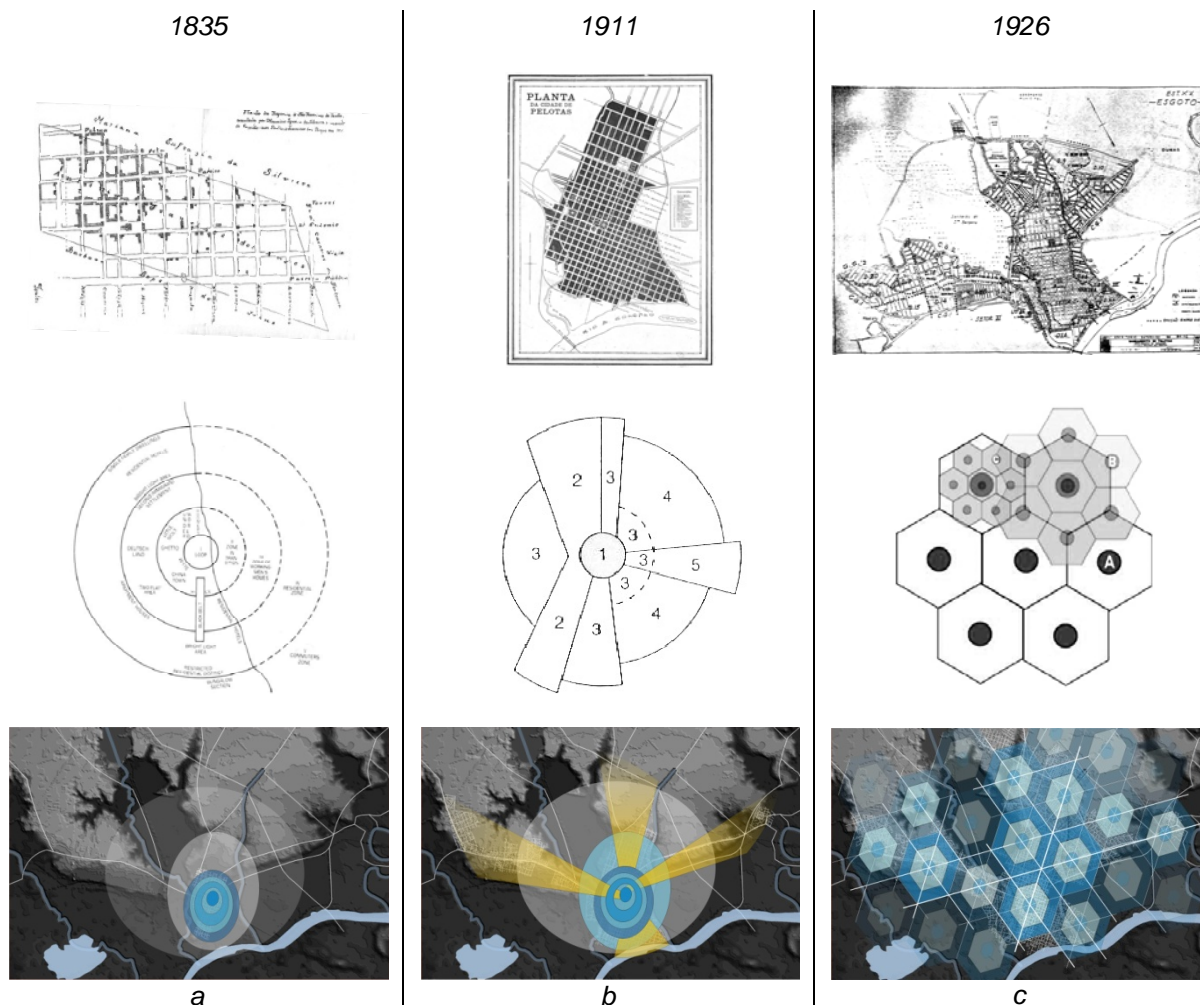


Figura 5. quadro demonstrativo da convergência entre a abordagem evolutiva da teoria clássica e a divisão temporal da análise empírica do crescimento para o caso Pelotas a) 1835 x concêntrico; b) 1911 x setorial; c) 1926 x multicentralidades.

## 4. Conclusões.

Pressupondo a cidade como um fenômeno complexo, de onde emergem padrões morfológicos de organização espacial, este trabalho objetiva identificar relações espaço-temporais entre a morfologia urbana e a paisagem natural de suporte, definida pela hidrografia natural. Sob esta perspectiva podem ser indicadas algumas conclusões, que a seguir estão apresentadas:

### a) manejo das águas urbanas e a influência na forma urbana.

A partir da diferença temporal que ocorre entre a dinâmica continuada do crescimento urbano e tempo de retorno dos recursos hídricos decorrem a maioria dos conflitos entre os diferentes subsistemas. A forma que ocorre o manejo das águas urbanas pode ser indicada com um fator que influencia a configuração urbana. Intervenções estruturais sobre os recursos hídricos, que alteram o ciclo hidrológico e o escoamento natural, são medidas que possibilitam a ocupação dos vazios urbanos e viabilizam a expansão urbana a partir de formas

concêntricas. Por outro lado, as chamadas medidas não estruturais de planejamento podem vir a promover um modelo urbano fragmentado, induzindo a descontinuidade espacial urbana associada à preservação das linhas de drenagem. O fato é que, independente do paradigma que ocorre o manejo das águas no contexto das cidades, estes podem vir a influenciar a forma que ocorre o crescimento urbano, viabilizando a concentração ou induzindo a fragmentação.

b) fragmentação urbana e coincidência com a paisagem natural.

Os resultados do trabalho indicam a fragmentação da forma urbana como um mecanismo intrínseco ao fenômeno urbano, decorrente da auto-organização morfológica do sistema urbano. O fato é que a descontinuidade espacial independe de um único fator intraurbano, ocorre a partir da convergência de inúmeros subsistemas que convergem para uma dinâmica associada à transição de fases, semelhante ao que ocorre nos demais fenômenos complexos. Uma propriedade discreta que confere às cidades propriedades de permanência ao longo dos tempos, o que na ecologia urbana tem sido tratado em termos da resiliência.

A ocorrência da forma urbana fragmentada permite que os vazios urbanos possam coincidir espacialmente com locais de interesse do ambiente natural. Desta forma, a dinâmica do crescimento e a descontinuidades espacial podem ser de fato um caminho para melhor coexistirem sistemas urbanos e ecossistemas naturais. Entretanto, a fragmentação da forma urbana não anula a tendência natural das cidades a ocorrer de forma compacta e concêntrica, urbanizando indiscriminadamente áreas de maior fragilidade e interesse da paisagem natural. Pelo contrário, indica que as cidades crescem por movimentos de compactação e fragmentação, sincronicamente, caracterizando uma dinâmica que a define essencialmente como fenômeno complexo, portanto difícil de serem controladas e induzidas a partir de medidas no sentido top-down; ou seja, planos pautados exclusivamente por medidas normativas.

Para que de fato ocorra a cidade articulada à paisagem natural, é preciso indicar uma escala para induzir a ocorrência da fragmentação urbana e os vazios urbanos efetivamente coincidam com locais de interesse da ecologia da paisagem. Neste sentido, alguns autores têm-se antecipado e indicado a articulação entre sistemas de transporte e as bacias hidrográficas como uma possibilidade para reduzir custos de implantação de infraestrutura e reduzir os impactos do crescimento urbano sobre a paisagem natural. É nesta perspectiva e escala espacial que se associa o trabalho, das bacias hidrográficas.

c) enunciado locacional e dinâmica de expansão articulados com a hidrografia.

Na escala das sub-bacias hidrográficas e para o delineamento proposto ao trabalho, núcleos urbanos ocorrem com a devida proximidade e distanciamento das linhas de drenagem, pro-

curando locais que mais se assemelhem a planos isotópicos. A partir destas formações, o crescimento espacial sem restrições do ambiente natural, ocorre com predomínio concêntrico até se deparar com locais de maior restrição da paisagem, como ocorre junto às linhas de drenagem. Nestes locais configuram-se interfaces que impedem a expansão urbana na lógica concêntrica. Para continuar a produção espacial da fábrica urbana, superam as restrições da paisagem promovendo urbanizações remotas que tendem a ocorrer em áreas além dos recursos hídricos, não adjacentes às linhas de drenagem. Neste ponto a cidade tende a repetir os critérios locais estáticos dos núcleos de origem, procurando locais na paisagem próximas a formações isotrópicas. Repetido o critério locacional estático, repete-se a forma de expansão e configura-se um processo iterativo e dinâmico. Configura-se na escala da paisagem natural definida pela hidrografia uma dinâmica do crescimento urbano que de fato alterna movimentos de compactação e fragmentação, um mecanismo que pode ser tomado como um movimento de auto-organização da forma urbana, capaz de denotar um fator de permanência ao fenômeno urbano.

## 5. Referências

- ALBERTI, Marina et al(2003) **Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems**. BioScience 53(12), 2003:1169–1179
- BARROS, Joana. (2004) **Urban Growth in Latin American Cities: Exploring urban dynamics through agent based simulation**. PhD Thesis. Londres: Casa.UCL.
- BATTY, Michael (2007) **Complexity in City Systems: Understanding, Evolution, and Design**. CASA Working Paper 117. 36 p.
- BATTY, Michael (2009) **Catastrophic cascades: extending our understanding of urban change and dynamics**. Editorial Environment and Planning B: Planning and Design 36
- BATTY, Michael; LONGLEY, Paul (1994) **Fractal Cities: geometry of form and function**. Academic Press, London.
- BENGUIGUI, Lucien et al (2001) **City Growth as a Leapfrogging Process: An Application to the Tel Aviv Metropolis**. Urban Studies 38(10): 1819–1839.
- BUZAI, Gustavo D. (2003) **Mapas Sociales Urbanos**. Buenos Aires: Lugar Editorial 384.p.
- CRUZ, Glenda (1984) **Espaço construído e a formação econômico-social do Rio Grande do Sul: uma metodologia de análise e o espaço urbano de Pelotas**. Dissertação de Mestrado. PROPUR-UFRGS. Porto Alegre, 1984
- CZAMANSKI, Daniel et al. (2008) **Urban Sprawl and Ecosystems - Can Nature Survive?** International Review of Environmental and Resource Economics, 2008, 2: 321–366

FUJITA, Masahisa; MORI, Tomoya (1997) **Structural stability and evolution of urban systems**. Regional Science and Urban Economics, 27. 399-442.

GUTIERREZ, Ester J. B. (2004) **Barro e Sangue: mão-de obra, arquitetura e urbanismo em Pelotas [1777-1888]** Editora da UFPel. 549 p

JANOSCHKA, Michael (2002) **El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización**. EURE (Santiago) v.28 n.85 Santiago. 15 p.

JENKS, Mike; BURGESS, Rod (2000) **Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries**. London, Spon Press.

NYSTUEN, J. (1968) **Identification of some fundamental spatial concepts**. In: BERRY J (ed) Spatial analysis. N Jersey, Prentice Hall

PARK, Robert E.; BURGESS, Ernest W. (1925). **The City: suggestions for Investigation of human behavior in the urban environment**. The University of Chicago Press.

POLIDORI, Maurício C. (2004) **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. Tese Doutorado UFRGS PPGECCO. 352p.

PORTUGALI, Juval (2000) **Self-organization and the city**. Berlin: Springer. 352 p.

SANEP (1988) **Histórico do Saneamento de Pelotas [1871-1987]**. Prefeitura Municipal de Pelotas: Serviço Autônomo do Saneamento de Pelotas. 47 p.

SOUZA, Célia F. (2000) **Contrastes Regionais e Formações Urbanas**. Coleção Síntese Rio-grandense v.14. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS.

TJALLINGII, S. (2005) **Carrying Structures: Urban Development Guided by Water and Traffic Networks** In Hulsbergen, E.D (eds) Shifting Sense Looking back to the future in Spatial Planning. Techne Press, Amsterdam.

TORRENS, Paul; ALBERTI, Marina (2000). **Measuring Sprawl**. London: Casa, UCL. 43 p. Disponível em 18 de novembro de 2009 em [http://casa.ucl.ac.uk/working\\_papers.htm](http://casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm)

TUCCI, Carlos E. M. (2005) **Gestão das Inundações urbanas**. Unesco. Global Water Partnership: South America. 197p.

VALE, L. J.; CAMPANELLA, T. J. (2005) **The Resilient City: How Modern Cities Recover from Disaster**. Nova York: Oxford University Press.