

ENCHENDO OS OUVIDOS

As belezas mais sublimes muitas vezes vêm do que é mais suave, ou menor — como os pianíssimos quádruplos da “Schöne Müllerin” de Schubert, cantados por Fischer-Dieskau (e chegando com nitidez brilhante à última fila do segundo balcão, onde certa vez me sentei para assistir a um dos maiores desempenhos que jamais testemunhei), ou os minúsculos pássaros de plumagem reluzente pintados às margens de manuscritos medievais. Mas mesmo o caráter mais refinado e intelectual pode sucumbir sem pejo ao mero volume empregado às vezes pelos grandes compositores a fim de tomar as emoções de assalto à força, em vez de empregar uma beleza etérea — a orquestração de Ravel para o “Portão de Kiev” no final dos *Quadros de uma exposição* de Mussorgsky, ou a última cena dos *Mestres cantores* de Wagner.

Já tive o privilégio de cantar com a Sinfônica de Boston em Tanglewood no coro da mais atordoante de todas as peças musicais dominadas pelo volume — o “*Tuba mirum*” do *Réquiem* de Berlioz. É uma peça que ouvi durante toda minha vida adulta; ensaiamos (sem a orquestra) durante semanas. Eu sabia exatamente o que nos esperava quando começamos o ensaio geral. Os quatro naipes suplementares de metais foram entrando, um depois do outro, subindo e subindo até chegar a um clímax onde por fim os tímpanos iam a seu encontro — eram oito pares de tímpanos, acho eu, embora dessem a impressão de se estender para sempre numa fileira infinita à frente dos tablados do coro. E, contra o fundo deste crescendo, apenas os baixos (inclusive eu) cantam a grande invocação do Juízo Final:

*Tuba mirum spargens sonum
Per sepulchra regionum
Coget omnes ante thronum*

(O maravilhoso som do trompete percorre as tumbas de todas as regiões, proclamando todos a comparecer diante do trono.)

É assim que deve ser, e assim foi — menos para mim. Eu prorrompi em lágrimas e calafrios — não de êxtase diante da beleza, mas de espanto diante do volume. Os grandes compositores têm todo o direito de explorar assim a fisiologia de nossa resposta emocional, mas com comedimento, porque a seqüência é essencial (e a maior parte do *Réquiem* de Berlioz é suave).

Minha memória deste incidente extraordinário em minha ontogênese emocional revela uma curiosa mistura de modalidades. O som dos metais tomou meus ouvidos de assalto, mas o trovejar dos tímpanos seguiu outro caminho, dessa vez inesperado. Entrava pelas tábuas do estrado sobre o qual eu me encontrava e de lá subia, tomando todo meu corpo; o som se transformava em sensação tátil.

Não sou discípulo de Jung, e não acredito na memória ancestral da espécie. No entanto, num sentido estranho e puramente analógico, durante um instante eu me senti exatamente como um peixe. Nós (e quase todos os vertebrados terrestres) ouvimos o som que vem pelo ar através de nossos ouvidos; os peixes percebem as vibrações do som que é transmitido pela água através de seus órgãos das linhas laterais. Os peixes, em outras palavras, “ouvem” sentindo — como acontecera comigo quando percebi as vibrações sonoras através de uma plataforma de madeira cuja densidade era mais próxima da água do que do ar.

Não existe na história dos vertebrados terrestres uma saga capaz de competir com a evolução da audição, em matéria de combinação ideal de fascínio com uma excelente documentação. Duas transições fundamentais, na aparência impossíveis mas elegantemente explicadas, aparecem em extremidades opostas. Primeiro, no momento em que surgiu a vida terrestre: como é que as criaturas habituadas a ouvir através de linhas laterais que correm ao longo de todo o corpo poderiam passar a ouvir os sons através dos ouvidos? Como, em outras palavras, novos órgãos podem ter surgido sem que existissem antecedentes aparentes? Segundo, no momento da última grande inovação da configuração dos vertebrados: como é que os ossos que respondem pela articulação entre os maxilares superior e inferior dos répteis podem ter se deslocado para o ouvido dos mamíferos, transformando-se no *malleus* e no *incus* (o martelo e a bigorna) da cadeia de três ossos que conduz o som do tímpano (que lembra minha história do *Réquiem* de Berlioz) ao ouvido interno? Como, em outras palavras, os órgãos podem trocar de lugar e de função sem que, no processo, resulte destruída a integridade do animal enquanto criatura funcional? Como é que poderíamos sequer imaginar

uma forma intermediária numa série como esta? Afinal, não é possível comer com mandíbulas que não se articulem. Os criacionistas usam esta diferença entre os répteis e os mamíferos para proclamar que a evolução é impossível *a priori* — como é que alguém pode querer nos impingir a história de que os ossos das mandíbulas se transformaram nos ossos do ouvido? Francamente! E no entanto, veremos, mais uma vez, que o campo do pensamento convencional pode ser muito mais estreito que as possibilidades da natureza — embora as idéias devessem ser capazes de se expandir e abrir suas asas sobre a realidade.

A chave para o enigma dessas duas transições se encontra no tema principal da minha história sobre o *Réquiem* de Berlioz — as modalidades múltiplas e os usos duais. Você pode bater na cabeça e esfregar a barriga ao mesmo tempo, andar e mascar chicletes ao mesmo tempo (a maioria de nós, pelo menos), sentir e ouvir sons, mastigar e sentir com os mesmos ossos.

Escrever sobre a natureza em tom lírico muitas vezes resulta numa exaltação da perfeição e da excelência aparentes da configuração anatômica dos organismos. No entanto, como tantas vezes afirmei nestes ensaios, esta posição acaba mergulhando a natureza num paradoxo paralisante, em termos históricos. Se tal perfeição existisse e fosse a norma, poderíamos exultar e nos regozijarmos com ela, mas só haveria um pequeno problema: a natureza não poderia existir (pelo menos na forma de organismos complexos) se os produtos da evolução fossem aquinhoados com tamanha perfeição.

Recentemente, fiz minha primeira viagem ao Japão para dar uma conferência na abertura de uma série anual que a partir de agora levará sempre um estudioso americano ao Japão e trará para cá um colega japonês para falar sobre o mesmo tema. Fiquei agradavelmente surpreso e intrigado com o tema escolhido para este primeiro ano (em grande parte a pedido dos japoneses) — a criatividade. (Aparentemente, alguns japoneses temem — embora minhas impressões superficiais não revelassem nada que pudesse justificar esta ansiedade — que seus estudiosos e industriais se destaquem em matéria de eficiência e capacidade de adaptação, mas não de impulso inovador.)

Não tenho nada a dizer sobre a vida japonesa (e nem me arriscaria a tanto, nem mesmo com base no critério segundo o qual especialistas são aquelas pessoas que vivem num país ou há mais de vinte anos ou há menos de dois dias); nem entendo bem quais sejam as fontes da criatividade na psique humana de qualquer cultura. Assim, seguindo a máxima segundo a qual cada um deve se ater ao que sabe, falei sobre o significado evolutivo da criatividade — mais especificamente, sobre

os princípios que possibilitam as grandes transições e inovações na história da vida. Não sei se minha mensagem foi bem-recebida naquela terra da suprema arte do uso eficiente de um espaço limitado, porque eu disse que as palavras-chave da criatividade eram o descuido, a inadequação, as imperfeições de planejamento e, acima de tudo, a redundância.

As bactérias são maravilhas de eficiência, células simples de talento criador consumado, dotadas de programas internos livres de impurezas e superfluidades, contendo apenas cópias simples de genes essenciais. Mas as bactérias são bactérias desde que a vida deixou seu primeiro registro fóssil, 3,5 bilhões de anos atrás — e continuarão provavelmente a sê-lo até o Sol explodir. Uma tal perfeição pode nos deixar maravilhados, mas não traz em si as sementes da mudança substancial. Se cada gene cumpre o seu papel essencial, e apenas ele, de maneira soberba, como é que uma função nova ou adicional pode vir a se desenvolver? É neste sentido que a criatividade requer a imperfeição e a redundância — um pouco de excesso, não para ser aparado, mas para se converter em alguma outra coisa; um certo superemprego, de modo que um supranumerário ocioso possa ser recrutado para desempenhar um novo papel; a capacidade de desempenhar imperfeitamente vários papéis com cada uma das partes. (Não me entendam mal. As bactérias representam a maior história de sucesso do mundo. São hoje, e sempre foram, os organismos modais da Terra; não podem ser reduzidas a pó por um bombardeio nuclear, e vão certamente sobreviver a todos nós. O período em que vivemos é a “idade das bactérias”, e não a “era dos mamíferos”, como proclamam, imbuídos de chauvinismo, nossos livros escolares. Mas o preço que elas pagam por tal sucesso é estarem permanentemente relegadas a um micromundo; jamais virão a conhecer a alegria e a dor da consciência. Vivemos num universo de compensações; a complexidade não funciona bem em parceria com a persistência.)

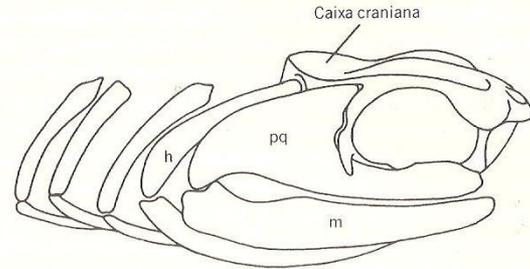
Para chegar a construir um vertebrado ao longo dos tortuosos caminhos da história, a evolução precisa converter em carne e ossos a grande metáfora do poeta. “Posso ouvi-la”, escreveu Yeats, “no cerne mais profundo do coração.” Não quero ser excessivamente literal, mas se as criaturas não pudessem escutar ocasionalmente com seus pulmões (como ocorre com certas serpentes) ou com suas mandíbulas (como provavelmente ocorria com nossos ancestrais imediatos répteis), não teríamos hoje estes ouvidos tão bem construídos que quase chegam a nos convencer da noção atraente mas insustentável de que os organismos vivos apresentam a configuração anatômica perfeita. Basta pensar no primeiro

e no último grande passo da construção anatômica do ouvido médio dos mamíferos — porque não conhecemos história melhor ou mais intrigante em toda a evolução dos vertebrados.

3) 1) *A origem dos ossos da audição nos primeiros vertebrados terrestres.* Ouvir sons que se propagam pelo ar têm de colocar um problema físico de peso: como é que as ondas sonoras que se propagam por um meio aéreo de baixa pressão podem ser convertidas em ondas de alta pressão capazes de ser transmitidas pelos fluidos contidos na cóclea do ouvido interno? Os vertebrados terrestres usam dois recursos principais para promover a necessária conversão. Primeiro, obedecendo ao princípio do “salto alto de ponta fina” (para citar a metáfora de meu colega T. S. Kemp), coletam o som na área relativamente ampla do tímpano, mas em seguida transmitem as ondas para o ouvido interno através de uma abertura muito mais estreita chamada *fenestra ovalis* (janela oval). Segundo, transmitem as vibrações entre o tímpano e a janela oval através de um osso ou de uma série de ossos, chamados, nos mamíferos, o *malleus*, o *incus* e o *stapes* — ou martelo, bigorna e estribo, em homenagem a uma semelhança realmente incrível. Estes ossos atuam como alavancas, aumentando a pressão das ondas sonoras à medida que elas vão se deslocando na direção do cérebro.

Os peixes têm um ouvido interno, mas não têm tímpano e nem ossos do ouvido médio; “ouvem” primariamente através de seus órgãos das linhas laterais, detectando as vibrações produzidas no meio denso da água pelas ondas sonoras. Como então poderiam ter surgido os ossos do ouvido médio nos vertebrados terrestres? A partir do zero?

Os primeiros vertebrados de que temos notícia eram desprovidos de mandíbulas. As lampreias modernas sobrevivem como remanescentes desta primeira irradiação dos vertebrados; seu nome formal, *Agnatha* (ou desprovidos de mandíbula), diz respeito à sua anatomia (ou às lacunas de sua anatomia). Nos agnatos, uma série de fendas branquiais se abre atrás da boca sem ossos — e este arranjo prenuncia a evolução dos maxilares. Nos primeiros peixes mandibulados, as guelras são sustentadas por uma série de ossos, um conjunto para cada fenda branquial. Cada conjunto compreende uma barra superior e uma inferior, voltadas para a frente e com uma dobradiça no meio. Obviamente, este arranjo, embora desenvolvido para sustentar as guelras, é extremamente semelhante ao dos maxilares superior e inferior de um vertebrado típico. Não sabemos ao certo se as mandíbulas surgiram de uma arcada branquial funcional que se tenha deslocado para a frente a fim de cercar a boca, ou se tanto as mandíbulas quanto as arcadas branquiais representam duas especializações diversas sempre isoladas, mas geradas



Uma figura clássica ilustrando as homologias entre as arcadas branquiais e as mandíbulas, extraída do livro *Vertebrate paleontology and evolution*. Os maxilares superior e inferior (pq e m) têm a mesma posição e a mesma forma das arcadas branquiais que se vêem ao fundo. Notar também que o elemento superior da arcada branquial logo atrás das mandíbulas se articula com a caixa craniana. Entre os vertebrados terrestres, este osso se transforma no hiomandibular (h) e mais tarde no estribo do ouvido. (Cortesia do Department of Library Services, Museu Americano de História Natural.)

4) pelo mesmo sistema de desenvolvimento embrionário. De qualquer maneira, não temos como negar que as arcadas branquiais e as mandíbulas sejam estruturas homólogas (ou seja, estruturas que se desenvolvem a partir da mesma fonte e representam o “mesmo” órgão em formas diferentes — como os braços e as pernas ou os dedos das mãos e dos pés). Os indícios desta homologia são abundantes e múltiplos: 1) no embrião, tanto os precursores dos maxilares quanto das arcadas branquiais se formam não a partir do mesoderma, a fonte da maioria dos ossos, mas a partir da migração de células da crista neural da cabeça em desenvolvimento; 2) as duas estruturas se compõem de barras inferior e superior, voltadas para a frente e com uma dobradiça no meio; 3) os músculos que controlam o fechamento das mandíbulas são homólogos aos responsáveis pela constrição das fendas branquiais.

Se as mandíbulas dos vertebrados representam uma arcada branquial anterior, outro elemento crucial do crânio também deriva dos elementos de sustentação das brânquias. A barra superior da arcada branquial seguinte se transforma no osso *hiomandibular* dos peixes mandibulados, um osso que funciona para o apoio e a coordenação, unindo as mandíbulas à caixa craniana.

Todos esses detalhes podem parecer distantes da origem dos ossos da audição, mas já estamos chegando perto (e chegaremos lá antes do fim deste parágrafo). Os mamíferos têm três ossos no ouvido médio — o martelo, a bigorna e o estribo. E o estribo é homólogo ao hiomandibular dos peixes. Em outras palavras — mas como pode ser? —, um osso que se originou como apoio para as brânquias deve ter evoluído para prender as mandíbulas à caixa craniana, e depois se transformou de novo para funcionar na transmissão do som quando os animais trocaram a água pelo ar, um meio tênue demais para permitir que “escutassem” através de sua linha lateral.

Como é costumeiro num mundo cheio de imperfeições, precisamos nos livrar de um conceito antigo e convencional antes de conseguirmos compreender como uma transição tão “inconcebível” pode ter de fato ocorrido sem impedimentos, na teoria e na prática. Precisamos esquecer os antigos modelos que trazem os cavalos e os homens no topo de uma cadeia de aperfeiçoamentos em continuidade funcional — partindo do pequeno, simples e menos bem-acabado para o maior, o mais elaborado e o lindamente torneado. Para esses modelos, os cérebros são sempre cérebros e os dentes são sempre dentes, e apenas ficam cada vez melhores em suas respectivas especialidades. Esses esquemas podem funcionar para explicar o aperfeiçoamento de alguma coisa que já exista, uma espécie de continuação constante da evolução. Mas como é que alguma coisa original pode surgir? Como é que os animais podem se transferir para um meio ambiente de fato inédito, o que cria a necessidade de funções que até então simplesmente não existiam? Precisamos de um modelo diferente para explicar as grandes transições e inovações, porque o rei Lear estava certo ao dizer que “nada se cria a partir de nada”.

Precisamos, em outras palavras, de um mecanismo que dê conta do recrutamento e da mudança funcional. A evolução nem sempre funciona ampliando algo que já existia sob forma rudimentar. Muitas vezes precisa pegar uma estrutura que funciona muito bem para determinada finalidade e destiná-la a outro uso. O osso original do ouvido médio, o estribo, evoluiu ao longo de um caminho assim, em que um robusto osso de reforço estrutural acabou se transformando num delgado ossinho da audição.

Se a cada órgão correspondesse apenas uma função (desempenhada com perfeição total), a evolução não seria capaz de gerar estruturas elaboradas, e as bactérias dominariam o mundo. As criaturas complexas só existem em virtude do excesso, do uso múltiplo e da redundância. O hiomandibular, que no início funcionava para dar sustentação às brânquias, evoluiu para responder pela ligação entre as mandíbulas

e a caixa craniana. Mas ocorre que este osso está perto da cápsula ótica do ouvido interno — e os ossos, por motivos evolutivos incidentais, são capazes de transmitir o som com eficiência razoável. Assim, embora funcionasse primariamente como reforço estrutural, o hiomandibular também foi adquirindo outras utilidades. As arraias aspiram a água através de uma abertura redonda chamada espiráculo, localizada adiante das outras fendas branquiais. Então, o hiomandibular ajuda a bombear esta água para a cavidade bucal, e daí para fora através das fendas branquiais. Mais perto das características de nosso filo, o hiomandibular pode ajudar a ventilar os pulmões dos peixes pulmonados modernos.

Venho desejando escrever sobre a origem dos ossos do ouvido médio desde que comecei esta série de ensaios, porque não existe história mais interessante na evolução dos vertebrados. Mas gosto de esperar por informações novas que justifiquem a escolha do tema, e acabei de tomar conhecimento de uma (ver J. A. Clack, na bibliografia, sobre a descoberta dos estribos mais antigos que se conhece). Os primeiros tetrápodes (vertebrados terrestres de quatro patas) que se conhece foram encontrados em rochas com 360 milhões de anos de idade, na Groenlândia oriental (ver ensaio 4). São conhecidos há algum tempo pelos nomes de *Ichthyostega* e *Acanthostega*, mas seus estribos ainda não haviam sido localizados claramente. Clack encontrou seis estribos de *Acanthostega*, quatro deles preservados nas posições que ocupavam em vida no animal.

Clack sugere que os estribos desses primeiros vertebrados terrestres tinham uma função não apenas dupla, mas tríplice. O osso é robusto e denso, e não delgado e delicado como nos estribos adaptados fundamentalmente à audição. Estes estribos originais ainda devem ter funcionado também cumprindo seu papel anterior de reforço (outros tetrápodes primitivos, entre eles ancestrais de mamíferos, também apresentavam estribos robustos). Clack afirma que esses ossos desempenhavam ainda um papel suplementar na respiração. Por fim, ela nos faz uma observação crucial baseada na localização do estribo nesses animais: “É provável que o estribo já tivesse alguma função auditiva, devido à associação próxima entre sua base e a cápsula ótica [do ouvido]”.

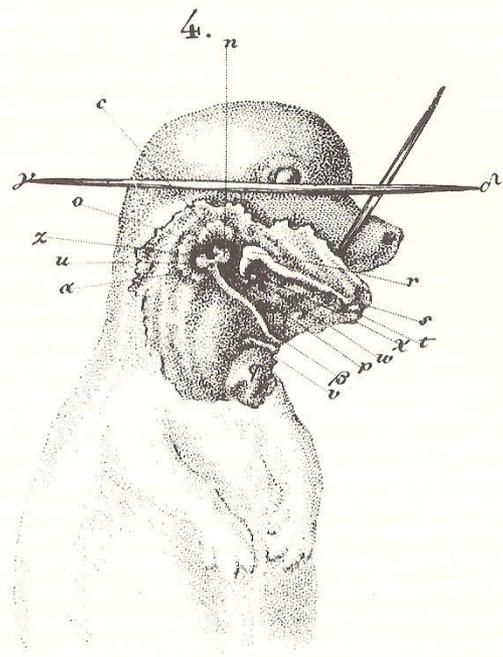
Um osso com tantas utilidades tem um potencial explosivo para a evolução. O estribo pode ter servido de reforço por 100 milhões de anos, mas também funcionava para a respiração e a audição, ainda que apenas de maneira incipiente ou suplementar. Quando o crânio, mais tarde, perdeu sua mobilidade anterior e a caixa craniana foi firmemente suturada ao crânio — como ocorreu, de maneira independente, em várias linhagens de vertebrados terrestres —, o estribo, não mais necessário para ser-

Maxilar inferior, este mal traduzido.

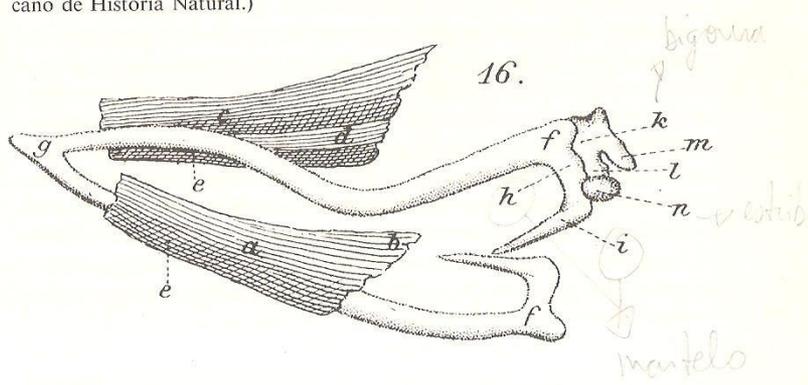
vir de reforço, recorreu a seu potencial e amplificou seu papel até então secundário na audição, transformando-a numa ocupação exclusiva.

2) *A origem dos ossos do ouvido médio entre os mamíferos.* A odisséia do estribo já é extraordinária, um relato digno de Cila, Caribde e todas as artimanhas de Circe — de apoio das brânquias à ligação entre maxilares e caixa craniana, e daí ao osso auditivo para amplificar os sons transmitidos pelo ar. No entanto, os dois outros ossos do ouvido médio dos mamíferos, batizados tempos atrás, numa época que ainda conhecia a forja do ferreiro, têm uma história ainda mais curiosa. O martelo e a bigorna (*malleus* e *incus*), elementos da arcada branquial situada à frente do hiomandibular, transformaram-se em partes do maxilar nos primeiros vertebrados. Na verdade, assumiram o papel crucial de responder pela ligação e articulação entre os maxilares superior e inferior — papel que ainda hoje desempenham entre os anfíbios, as aves e os répteis modernos. O osso quadrado do maxilar superior dos répteis transformou-se na bigorna dos mamíferos, enquanto o osso articular do maxilar inferior transformou-se no martelo. A transição, tão improvável em palavras, está lindamente documentada nos registros fósseis e no desenvolvimento embrionário de qualquer mamífero moderno.

A homologia entre os ossos das mandíbulas dos répteis e os ossos dos ouvidos dos mamíferos foi descoberta por anatomistas e embriologistas alemães muito antes do advento da teoria da evolução. Em 1837, C. B. Reichert fez as observações mais importantes e manifestou a mesma surpresa que seu achado vem suscitando desde então. Com essas palavras, Reichert apresentou a parte de seu livro sobre a *Entwicklungsgeschichte der Gehörknöchelchen* [História do desenvolvimento dos pequenos ossos da audição]. (O alemão parece incompreensível por causa de suas palavras enormes. Mas elas são em geral compostas pela aglutinação de palavras menores, e o sistema se torna transparente, e até mesmo encantador, quando se decompõem esses gigantes em suas partes constituintes. Os alemães preferem construir seus termos técnicos a partir da reunião de palavras comuns da língua, em vez de recorrer ao latim e ao grego. Um rinoceronte se chama *Nashorn*, ou “chifre no nariz”, o que de fato rinoceronte quer dizer em grego; quadrado se chama *Viereck*, ou quatro cantos. Nossa literatura técnica fala do martelo, da bigorna e do estribo como “ossículos auditivos”; não será preferível o alemão *Gehörknöchelchen*, ou ossinhos da audição?) De qualquer maneira, Reichert escreveu: “Raramente encontramos, em qualquer parte da organização animal, um caso em que a forma original de uma condição primitiva [embrionária] sofra mudança tão extensa quanto nos



Duas ilustrações do artigo clássico escrito por Reichert em 1837, contendo sua descoberta da homologia dos ossos do ouvido médio dos mamíferos. Ver a explicação no texto. (Cortesia do Department of Library Services, Museu Americano de História Natural.)



ossos da audição dos mamíferos. Mal conseguimos acreditar [...] Mas ainda assim, é o que acontece”.

Reichert estabeleceu todas as principais linhas-mestras do caso: que todos os ossos da audição derivam dos primeiros dois conjuntos de ossos de sustentação das arcadas branquiais, o martelo e a bigorna da primeira arcada (que forma as mandíbulas dos vertebrados) e o estribo da segunda arcada (que forma o hiomandibular dos peixes). Assinalou que o maxilar inferior começa a formar-se com uma estrutura precursora chamada cartilagem de Meckel (em homenagem a outro grande anatomista alemão da geração anterior, J. F. Meckel). Depois, o maxilar superior se ossifica ao lado da cartilagem de Meckel. Enquanto isso, a extremidade posterior da cartilagem de Meckel, que forma a extremidade traseira do maxilar superior no embrião jovem do porco, sofre um processo de ossificação e se destaca para se transformar no martelo do ouvido médio. Não se poderiam desejar provas mais diretas, e as observações de Reichert foram confirmadas mais de mil vezes desde então.

(Como um comentário tangencial em minha campanha permanente contra a cópia nos manuais de estudo, a ilustração anexa traz a figura original de Reichert mostrando o desenvolvimento do maxilar inferior no embrião do porco: *h* e *i* representam partes do futuro martelo sendo formadas na extremidade posterior da cartilagem de Meckel (*g*); o maxilar superior em processo de ossificação (*a*) começa a cercar e suplantará a cartilagem. Enquanto isso, a bigorna (*k*) e o estribo (*n*) começam a formar-se como ossos separados do maxilar inferior. Esta figura foi repetidamente copiada e degradada, como cópias xerox de cópias xerox, desde sua publicação original em 1837. O último clone que vi aparecia em um livro de anatomia publicado em 1971. Aposto que o autor deste volume [que sem dúvida copiou a figura de um livro pouco anterior ao seu] ficaria chocado se soubesse que sua figura data de 1837. Desta vez, todo mundo está com sorte, porque Reichert era um grande anatomista e sua figura está basicamente correta; mas basta pensar no potencial de erro acumulado inerente a esse processo inconseqüente de cópia. Também incluo aqui, para transmitir o interessante [ainda que um tanto macabro] sabor do estilo comum de ilustração do início do século XIX, um dos desenhos de Reichert mostrando a preparação de um embrião de porco, incluindo as agulhas de dissecação.)

Assim, todo mamífero revela em seu crescimento embrionário o caminho percorrido pelo desenvolvimento que transformou ossos do maxilar em ossos do ouvido ao longo da história de sua evolução. Nos mamíferos placentários, o processo já está completo quando o animal nasce, mas entre os marsupiais a história é revivida depois do nascimento, por-

que o pequeno canguru ou gambá entra na bolsa da mãe com os futuros ossos do ouvido ainda presos às mandíbulas e respondendo por sua articulação. Os ossos se separam, deslocam-se para o ouvido, e uma nova junta se forma para as mandíbulas — tudo durante o início da vida no interior da bolsa materna.

Indícios paleontológicos e funcionais se reúnem aos dados embriológicos, construindo um firme tripé de apoio, dando a esta narrativa um lugar de honra entre todas as transições na evolução dos vertebrados, combinando a força da documentação com o fascínio do conteúdo. Um tema se destaca como o traço coordenador básico desta narrativa (e de todo este artigo): a redundância e a utilidade múltipla são as grandes propiciadoras da criatividade.

Poderíamos aproveitar este tema para formular uma previsão abstrata sobre o caráter das formas intermediárias do registro fóssil. Ao contrário do que afirmam os criacionistas, convencidos de que uma transição deste tipo não poderia ocorrer em princípio, porque os pobres intermediários ficariam desprovidos de articulação das mandíbulas, o princípio de redundância sugere uma solução óbvia. A articulação das mandíbulas dos mamíferos modernos se dá entre os ossos escamosal ou esquamosal (maxilar superior) e dentário (maxilar inferior); nos outros vertebrados, se dá entre os ossos quadrado (maxilar superior) e articular (maxilar inferior), destinados a se transformar na bigorna e no martelo do ouvido dos mamíferos. Suponhamos que os ancestrais dos mamíferos tenham desenvolvido uma articulação entre o dentário e o escamosal num momento em que a antiga articulação entre o quadrado e o articular ainda era funcional — produzindo uma forma intermediária com duas juntas das mandíbulas. Nesse momento, a antiga articulação entre o quadrado e o articular podia ser abandonada e seus elementos começavam a se deslocar para o ouvido, enquanto as mandíbulas continuavam a funcionar perfeitamente bem com a nova articulação já instalada.

O registro fóssil que conhecemos é dolorosamente insuficiente, e não revela muitas formas intermediárias, por motivos discutidos com freqüência nestes ensaios. Mas a origem dos mamíferos representa um caso feliz em que os indícios são abundantes. As previsões abstratas do parágrafo anterior (de fato formuladas pelos paleontólogos antes das descobertas efetivas, de modo que não estou apenas usando um recurso de retórica) foram abundantemente confirmadas por ossos fósseis. Os terapsídeos cinodontes, nosso grupo ancestral entre os chamados répteis mamíferiformes, apresentam várias tendências à redução e à independência tanto do quadrado quanto do articular da antiga junção man-

didular reptiliana. Enquanto isso, o dentário do maxilar inferior aumenta e se estende para trás, entrando em contato com o maxilar superior. (Nos mamíferos, o dentário forma todo maxilar inferior; as mandíbulas dos répteis contêm vários elementos pós-dentários, todos reduzidos e depois suprimidos ou dispersos nos mamíferos.) Muitos cinodontes desenvolvem uma segunda articulação entre o escamosal e um elemento pós-dentário do maxilar inferior chamado sobreangular. (Esta junta não é a ligação entre o dentário e o escamosal que se formaria mais tarde nos mamíferos, mas sua formação ilustra uma evolução múltipla de formas intermediárias que os criacionistas afirmam ser impossíveis.) Por fim, dois ou três gêneros de cinodontes mais avançados desenvolvem uma segunda articulação de caráter verdadeiramente mamífero entre o dentário e o escamosal. Um desses gêneros (embora os indícios sejam controversos) recebeu o lindo e característico nome de *Diarthrognathus*, ou mandíbula com duas articulações.

Além disso, os primeiros mamíferos verdadeiros ainda não apresentam um martelo e uma bigorna totalmente independentes. Os ossos permanecem presos às mandíbulas e continuam a participar da articulação, tanto no *Morganucodon* quanto no *Kuehneotherium*, os dois mamíferos primitivos que conhecemos melhor. “Neste sentido”, escreveu Edgar F. Allin em 1975, “os primeiros mamíferos ainda não possuíam um ‘ouvido médio mamífero’”. À altura do Jurássico Superior, ainda nos primeiros tempos da vida dos mamíferos num mundo dominado pelos dinossauros, esses ossos já haviam migrado para o ouvido, e se formara uma articulação exclusiva entre o dentário e o escamosal.

A embriologia e a paleontologia nos fornecem uma documentação adequada em relação ao “como”, mas também queremos compreender melhor o “porquê”. Em especial, por que esta transição ocorreu — sobretudo quando o ouvido com apenas um osso, o estribo, parece funcionar de maneira perfeitamente adequada (e, ao menos em algumas aves, tão bem quanto o ouvido dos mamíferos com seus três ossos)? Ainda estamos longe de uma resposta satisfatória para esta pergunta complexa, mas uma possível solução tem interesse especial, e também ilustra mais uma vez o princípio da redundância.

Os pelicossauros, criaturas com uma crista nas costas que aparecem em todos os conjuntos de dinossauros de brinquedo e em todas as ilustrações sobre a época dos dinossauros, não são dinossauros, mas nossos ancestrais distantes — antepassados dos répteis terapsídeos que acabaram se transformando em mamíferos. O estribo do pelicossauro está próximo do maxilar superior (ancestral da bigorna, que hoje se articula com o estribo no ouvido médio dos mamíferos). Esta ligação persiste

e às vezes aparece mais intensa nos terapsídeos descendentes — antepassados mais imediatos dos mamíferos. Esta ligação anatômica é forte indício de que o osso quadrado dos mamíferos ancestrais, funcionando primariamente na articulação das mandíbulas, já desempenhava um papel subsidiário na transmissão do som. Afirma Allin: “Devido à natureza de sua junção com o estribo, é evidente que o osso quadrado do cinodonte participava da condução do som”.

Infelizmente, não temos como fazer experiências com animais extintos, nem dispomos de indícios diretos de que o osso quadrado participasse da audição nos ancestrais dos mamíferos. No entanto, sabemos que os ossos quadrados dos répteis são capazes de transmitir o som, ao mesmo tempo em que funcionam como parte da articulação das mandíbulas, porque vários répteis modernos apresentam uma importante ligação entre o osso quadrado e seu ouvido interno. (Essas criaturas não são ancestrais dos mamíferos, mas demonstram a possibilidade, na verdade o funcionamento real, desta crucial modalidade múltipla na evolução da audição dos mamíferos.) As serpentes, por exemplo, não têm ouvido externo nem tímpano, e muitos cientistas acreditaram que eram inteiramente surdas, até ser demonstrado por estudos recentes que têm sensibilidade ao som em quase todo o corpo, especialmente em torno dos pulmões, capazes de transmitir as vibrações sonoras para o ouvido interno. Mas outro caminho oferece vantagens especiais para uma criatura tão próxima do substrato por decisão direta de Deus: “[...] sobre o teu ventre andarás; e pó comerás todos os dias da tua vida”. As serpentes ouvem primariamente apoiando a cabeça no chão e transmitindo as vibrações do maxilar inferior para o osso quadrado e de lá finalmente para o estribo — seguindo assim de perto a trajetória que acabou sendo percorrida pelos mamíferos em sua evolução. Além disso, experiências diretas com vários lagartos e, em especial, o *tatuara* da Nova Zelândia demonstraram que as vibrações dirigidas ao osso quadrado são transmitidas ao estribo e registradas pelo cérebro.

Posso confessar agora, na conclusão deste ensaio, um motivo ulterior para sua composição — porque as excursões complexas e abstratas podem ser meros adornos que na verdade encobrem finalidades mais simples. As piadas para iniciados têm uma qualidade deliciosa porque só são acessíveis aos membros da confraria. Mas às vezes as piadas para iniciados são tão boas que sentimos vontade de contá-las aos demais, mas desistimos diante do volume de informações prévias necessárias à sua compreensão. Este artigo pode ser considerado apenas um inítrito extenso mas necessário para que o leitor possa compreender um dos meus poemas jocosos favoritos. Meu colega John Burns, especialista em lepi-

dópteros que hoje vive em Washington mas passou vários anos em Harvard, costumava iniciar seus seminários com versinhos humorísticos. Adorávamos seus poemas, e freqüentávamos seus seminários mais para ouvi-los do que para acompanhar as palestras subseqüentes. Finalmente, John publicou seus versos num volume chamado *Biograffiti* (Demeter Press, 1975), com uma introdução escrita por este vosso criado. Dentre todos, meu favorito é um resumo radical da evolução do ouvido dos mamíferos, inteiramente incompreensível para 99% da população, mas agora decifrado para vocês, queridos leitores, como prêmio por sua persistência e como sobremesa depois desta densa dissertação:

Evolution of Auditory Ossicles

With malleus

Aforethought

Mammals

Got an earful

of their ancestors'

Jaw.

[Evolução dos Ossículos Auditivos

Com o martelo

Premeditadamente

Os mamíferos

Encheram os ouvidos

com a mandíbula

de seus ancestrais.]