

Jerzy André Brzozowski

AUTO-ORGANIZAÇÃO E CONTINGÊNCIA DA BIOLOGIA EVOLUTIVA

Um estudo sobre os desafios de Stuart Kauffman e
Stephen Jay Gould ao darwinismo

Dissertação submetida ao Departamento de
Filosofia da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de Mestre
em Filosofia.

Área de concentração: Epistemologia

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Andrés Caponi

Florianópolis, SC

2007

Para minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao “argentino perdido nas ciências da vida”, Gustavo Caponi, que, além de ter sido meu professor e orientador (nos mais plenos sentidos desses termos), é interlocutor de conversas sobre literatura, cinema, música e a arte de escrever. Gustavo sempre tem um aforismo para cada um desses temas (o Borges que ele me ensinou a apreciar é uma constância) e, quando não tem, inventa algum *ad hoc*. Em um espírito aforístico, então, devo dizer que *a vida tem momentos kierkegaardianos de inflexão*. O momento em que Gustavo me convidou para fazer esse mestrado foi uma das mais felizes inflexões de minha vida, me fez sentir, como gostamos de brincar, *at home in the universe*.

Agradeço também aos professores da Epistemologia, Alberto Cupani, Luiz Henrique Dutra, Marco Franciotti e Décio Krause, pelo acolhimento e paciência em ensinar filosofia a alguém que não era da área. Quando, neste trabalho, demonstro lucidez filosófica, é em grande medida do trabalho deles que ela deriva. À CAPES, pelo apoio financeiro. A Carlos Roberto Zanetti, Jaime Cofre e Francielly Grassi, que foram meus professores na graduação, fica uma grande dívida por terem me mostrado as maravilhas do mundo biológico e como pensar criticamente sobre elas. Não posso deixar de agradecer aos professores Paulo Hofmann e Kay Saalfeld, com quem nunca tive formalmente nenhuma aula. Kay Saalfeld, com seu método socrático e lacônico, desfez algumas de minhas concepções errôneas mais profundamente enraizadas. A Paulo Hoffman devo as coisas certas que falo aqui sobre genética de populações (as coisas erradas são minhas mesmo) e a precisão com que uso alguns termos de biologia evolutiva. Os comentários dele sobre uma versão preliminar deste trabalho foram inestimáveis.

Aos colegas de mestrado Thiagus Mateus Batista e João Francisco “Chico” Botelho, pelas discussões, amizade e festas. Chico foi também colega de orientação e, informalmente, meu co-orientador, pelo aporte bibliográfico e pelas importantes discussões. Thiagus me ensinou a ver algumas coisas de outros ângulos, me mostrando as virtudes da maneira behaviorista de pensar (se é que pensamos). Ao colega de orientação e estudioso da paleontologia Frederico Felipe Faria, a quem devo as precisões sobre uniformitarismo e catastrofismo.

Aos *cohabitas* Hoaiany Casagrande, Roberto Pértile, Eduardo “Duda” Pértile e Ricardo Woyciekowski, por alguns dos anos mais intensos que vivi. Este trabalho tem uma dívida especial com o Roberto, porque foi ele quem, por uma contingência, me fez entrar em contato com a obra de Kauffman. A Bruno Costa da Silva, em memória das noites fazendo relatórios de físico-química e em agradecimento pelos resumos que tanto nos ajudaram a estudar. Bruno, Fabíola, Roberto e eu éramos os Três Mosqueteiros e D’Artagnan na graduação. Ao Adilson Koslowski, o grande responsável pelo meu enveredamento inicial pela Epistemologia na UFSC; ele foi o primeiro a me falar sobre Dennett, Putnam e Quine.

Aos tios Alceu e Elizete, que estiveram em Santa Fe, agradeço por todos esses anos de convivência, boa gastronomia, acolhimento, carinho e apoio, em todos os sentidos. Também à prima Viviane, pelos telefonemas (morávamos na mesma cidade mas era sempre ela quem tomava a iniciativa de telefonar), visitas, bolos e rocamboles! Vocês foram os representantes de minha família (*lato sensu*) aqui em Florianópolis, e estiveram sempre presentes. Aos amigos de meus tios, que contribuíram indiretamente, mas não com menor importância, para a realização deste trabalho: Cláudia e Roberto Pinto, Stella e Elson Pereira, Stephany e Charles Braglia Barreto.

Aos meus sogros Marisa e José “Zeca” Stolf e à cunhada Franciele, que sempre perguntavam “como é que vai o mestrado?”. Agora posso responder com orgulho: “terminei!”.

Ao meu pai Jerzy, por tudo, mas em especial por ter despertado em mim o interesse pela filosofia e me mostrado Stanisław Lem. À minha mãe Denise e ao meu irmão Julian, também por tudo, mas também em especial pela força, carinho e inspiração. O Julian, com sua enorme criatividade, me distraiu (no bom sentido) desse trabalho: juntos, escrevemos contos, criamos músicas e desenhos. Minha mãe, por sua vez, fez todas aquelas coisas que só uma mãe sabe fazer: se preocupou, riu e chorou nas horas certas, nos acolheu e se apaixonou pelo netinho.

Por fim, para aquelas duas pessoas a quem não tenho palavras para expressar meu agradecimento: minha esposa Fabíola e meu filho Artur. Há um pouquinho de vocês em cada página deste trabalho, que é pelo nosso futuro.

“É claro que temos que enxergar mais longe que Darwin,
mas o faremos nos apoiando em seus ombros,
não virando as costas a ele.”

-- *John Maynard Smith,*

“Do we need a new evolutionary paradigm?”

RESUMO

O objetivo deste estudo é contrastar a *tese da auto-organização* de Stuart Kauffman e a *tese da contingência* de Stephen Jay Gould com a visão darwiniana da evolução. Inicialmente, caracterizamos o darwinismo como o que Kim Sterelny e Paul Griffiths chamaram de “visão aceita da evolução”, acrescida dos três princípios gouldianos que detalham o papel da seleção natural na teoria darwiniana. A tese da auto-organização pode ser caracterizada como nomológica, na medida em que procura mostrar como as leis da auto-organização são responsáveis por grande parte da ordem biológica. A tese da contingência, por outro lado, enfatiza o papel do acaso e da imprevisibilidade na evolução, podendo assim ser vista como a defesa de uma abordagem idiográfica para a biologia.

Kauffman questiona o *poder causal* da seleção natural na produção do fenômeno adaptativo. Nesse sentido, argumenta que a auto-organização é uma espécie de pré-requisito para a ação da seleção natural. No entanto, argumentamos que, vista como a condição de possibilidade da ação da seleção natural, não se pode dizer que a auto-organização tome o lugar da seleção natural em causar adaptações.

Por sua vez, Gould está preocupado com o *poder explicativo* do *princípio* de seleção natural. Gould defende que, dada a imprevisibilidade a longo prazo exibida pelo fenômeno evolutivo, o princípio de seleção natural é insuficiente para explicar a história da vida na Terra. Sterelny e Griffiths afirmam que a tese da contingência deve ser lida como a visão de que o fenômeno evolutivo não apresenta *resiliência contrafactual*. Sob essa e outras interpretações, procuramos mostrar que a tese da contingência é mal-sucedida ao desafiar o poder explicativo do princípio de seleção natural.

Por fim, analisamos as bases epistemológicas das duas teses, mostrando que a tese da auto-organização se baseia em um conceito de lei notoriamente diferente daquele defendido pelos estruturalistas. A tese da contingência está assentada em uma posição clássica da epistemologia: a noção de que explicação e predição são, em algum sentido, simétricas. A partir daí, procuramos caracterizar a abordagem kauffmaniana como uma forma de *ahistoricismo explicativo*, aproximando-se daquela desenvolvida por R. A. Fisher e S. Wright em genética de populações. Caracterizamos a posição de Gould, por outro lado, como um *contingentismo causal*. Dado que nenhuma das duas teses nega que a seleção natural é a causa da adaptação, pode-se dizer que elas concordam no nível causal. Essa constatação faz delas compatíveis, e mesmo complementares, ao darwinismo. Além disso, enquanto elas aparentemente discordam no nível explicativo, as abordagens nomológica e idiográfica não são mutuamente excludentes, conforme atesta a coexistência de algumas disciplinas em outras áreas científicas.

ABSTRACT

The object of this study is to contrast Stuart Kauffman's self-organization thesis and Stephen Jay Gould's contingency thesis with the standard Darwinian view of evolution. 'Darwinism' is here equated with what Kim Sterelny and Paul Griffiths have termed the *received view* of evolution, together with Gould's three principles that provide further detail about the role played by natural selection in Darwin's theory. The self-organization thesis – the idea that self-organization provides some of the order seen in organisms – comes from a nomological perspective of biology, one that sees the discovery of laws as the primary goal of biological inquiry. On the other hand, the contingency thesis greatly emphasizes the evolutionary role of randomness and unpredictability, and thus may be regarded as a defense of biology as a predominantly idiographic science. We seek to assess whether the two theses under study would demand revisions in the Darwinian view.

Kauffman challenges the causal role of natural selection in bringing about adaptive phenomena. In this vein, he claims that self-organization is some kind of pre-requisite to natural selection. But we argue that, seen as condition of possibility for the action of natural selection, self-organization cannot be said to take the causal role of the former in producing adaptations.

Gould is concerned with the explanatory power of the principle of natural selection. He argues that the principle of natural selection is insufficient as an explanatory principle for life's history, because evolutionary outcomes cannot be predicted in the long run. We adopt Kim Sterelny and Paul Griffiths's reading that the contingency thesis is the claim that the history of life on Earth is not *counterfactually resilient*. Under this and other interpretations, we contend that Gould's thesis does not succeed as the challenge it purports to be.

Finally, we analyze the epistemological underpinnings of both theses. The self-organization thesis rests on a concept of law notably different from that championed by structuralists. On its turn, the contingency thesis is based on the more classical thesis of symmetry between explanation and prediction. Thus, we construe Kauffman's position as a form of *explanatory ahistoricism* akin to the early approaches in population genetics conducted by R. A. Fisher and S. Wright. Gould's position, on the other hand, may be thought of as a *causal contingentism*. Since none of those theses denies that natural selection is the cause of adaptation, they can be said to agree on the causal level. This makes them compatible, and even complementary, to Darwinism. Furthermore, while they may apparently disagree on the explanatory level, the nomological and idiographic approaches to scientific explanation are not mutually exclusive. The coexistence of nomological and idiographic disciplines in other areas of science attests to this fact.

SUMÁRIO

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
1 Introdução	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Darwinismo, neodarwinismo, pluralismo.....	4
1.2.1 <i>O darwinismo e a visão aceita</i>	6
1.2.2 <i>O neodarwinismo</i>	9
1.2.3 <i>O pluralismo</i>	10
1.3 Perguntas.....	13
1.4 Seleção natural e auto-organização.....	15
1.5 A tese da contingência evolutiva.....	16
1.6 Poder causal e poder explicativo da seleção natural.....	18
2 A tese da auto-organização	21
2.1 Apresentação.....	21
2.2 A inspiração bioquímica da tese da auto-organização.....	22
2.3 A explicação por articulação de partes.....	24
2.4 Redes booleanas aleatórias como um modelo cibernético para o genoma.....	27
2.4.1 <i>Definições</i>	29
2.4.2 <i>A interpretação ontogenética das redes booleanas</i>	31
2.4.3 <i>Redes booleanas e filogenia</i>	33
2.5 A auto-organização em Kauffman.....	35
2.5.1 <i>Auto-organização como ordem gratuita</i>	36
2.5.2 <i>Auto-organização como adaptabilidade: a “hipótese ousada”</i>	36
2.6 A tese da auto-organização e a visão aceita.....	39
3 A tese da contingência	43
3.1 Apresentação.....	43
3.2 A contingência na evolução.....	44
3.3 A natureza dos eventos contingentes.....	46
3.3.1 <i>Largos canais, estreitos detalhes</i>	46
3.3.2 <i>Resiliência contrafactual</i>	50
3.3.3 <i>Três tipos de contingência</i>	51
3.4 Extrapolacionismo.....	53

3.5	As mesmas regras ou regras diferentes?	55
3.6	A natureza algorítmica do processo evolutivo	58
4	Discussão: o nomotético e o histórico em Kauffman e Gould	61
4.1	Apresentação: o problema das leis em biologia	61
4.2	É Kauffman um estruturalista?	64
4.2.1	<i>O que é o estruturalismo em biologia?</i>	65
4.2.2	<i>Explicação seletional, explicação transformacional e explicação de equilíbrio</i>	69
4.2.3	<i>Kauffman e as bases analíticas da organização</i>	72
4.3	A tese da contingência e o estatuto das explicações paleobiológicas	75
4.3.1	<i>A tese da simetria entre explicação e predição</i>	76
4.3.2	<i>A explicação narrativa nas ciências históricas</i>	77
4.4	A tese da contingência frente à tese da auto-organização	81
4.4.1	<i>O ahistoricismo explicativo de Kauffman</i>	81
4.4.2	<i>O contingentismo causal de Gould</i>	85
5	Conclusão	87
6	Referências	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O filósofo dinamarquês Søren Kierkegaard escreveu que a vida é vivida para frente, mas entendida em retrospectiva (2000 [1843], p. 12). E complementa: quanto mais pensamos sobre isso, mais nos convencemos de que jamais – exceto, talvez, na morte – atingimos o repouso próprio para tomar a postura perfeitamente retrospectiva. Obviamente, Kierkegaard estava se referindo à vida enquanto existência de um indivíduo da espécie humana, porém, conotações impensadas surgem se estendermos o trecho de Kierkegaard à “vida” no sentido biológico e, especialmente, no sentido evolutivo. Aparentemente, a frase de Kierkegaard pressupõe que, enquanto está acontecendo, a vida parece eminentemente contingente e desafia explicações; apenas em retrospectiva conseguimos explicitar alguma espécie de lógica por trás do que ocorreu. A vida teria certa dualidade aparentemente contraditória, uma natureza ao mesmo tempo *anômala*, isto é, refratária à explicação por leis, mas ainda assim *regular*, de modo que padrões gerais pudessem ser evidenciados ao se olhar retrospectivamente para sua história.

O presente estudo é uma investigação sobre essa dualidade ou, mais especificamente, sobre como ela é entrevista de maneiras diferentes nas obras de dois biólogos contemporâneos: Stuart Kauffman e Stephen Jay Gould. Queremos saber se as teses defendidas por esses dois autores exigem alguma revisão na forma clássica – que chamaremos de *visão aceita* – de se conceber e explicar a história da vida. Justifica-se essa abordagem pelo fato de que os discursos de ambos os autores buscam, de certa forma, polemizar com a visão aceita da história da vida. Analisaremos primeiramente a crítica de Kauffman, a qual chamaremos de *tese da auto-organização* e que pode ser considerada de natureza nomológica. Muitos autores escreveram sobre o tema da auto-organização, mas nos parece que Kauffman é o mais preocupado em fazer suas idéias contrastáveis com as dos biólogos evolutivos. A tese da auto-organização é a hipótese

ousada [*bold hypothesis*] de Kauffman (1993), ou seja, a idéia de que a vida tem a propriedade de auto-organização e que a ação da seleção natural, em algum sentido, é limitada por ela. A segunda crítica de que trataremos é a *tese da contingência*, apresentada no livro *Vida Maravilhosa* (1990), de Gould, que enfatiza o caráter instável e aberto a contingências, do processo evolutivo.

Para que nossa discussão sobre os aspectos *contingentes*, ou particulares, e os *nomológicos*, ou legaliformes, da história da vida possa ser proveitosa, então é necessário situá-la no âmbito do grande campo de estudos aberto por Darwin: a *biologia evolutiva*. Evidentemente, a história da biologia nos mostra que a própria noção de *história da vida* esteve longe de ser acontroversa e se hoje há um consenso, por limitado que seja, a biologia tem um débito impagável a Charles Darwin. Somente foi possível dar sentido a uma ciência histórica da vida, com um vocabulário e gramática próprios, a partir da publicação da *Origem das Espécies* (1859). Não há dúvidas de que a dualidade de que estamos falando – entre a anomalia e a regularidade da história da vida – já estava contemplada naquela obra. Darwin estabeleceu o fato da evolução das espécies como um processo histórico e contingente, ao mesmo tempo em que propôs um mecanismo regular por meio do qual esse processo poderia ocorrer (a seleção natural).

Assim, estamos contrastando essa tradição com a *biologia funcional*, que centra no organismo individual o seu objeto de estudo, em detrimento da perspectiva populacional da biologia evolutiva. A divisão entre os campos evolutivo e funcional da biologia foi proposta por Ernst Mayr (1988; 1998) e é fundamental para entendermos as diferenças entre o tipo de questões, a noção de causalidade e os modelos explicativos formulados em cada um desses dois domínios.

A biologia funcional está associada à tradição de pesquisa anátomo-fisiológica: o organismo individual é sua unidade máxima, embora seja palco de todos os fenômenos de interesse para esse campo. Nas palavras de Mayr, “[o] biólogo funcional está [...] preocupado com a operação e a interação de elementos estruturais, de moléculas a órgãos e indivíduos completos” (1988, p. 25). O biólogo funcional pergunta pelo “como” dos fenômenos: “como tal molécula é produzida?”, “como tal processo metabólico contribui para tal função vital?” e, em geral, “como o organismo funciona?”. É esse último tipo de interrogação que estabelece as diretrizes metodológicas e unifica sob o mesmo nome disciplinas como a biologia celular e molecular, a bioquímica e a fisiologia. São disciplinas cujos métodos são predominantemente experimentais e se aproximam daqueles da física e da química.

Em contrapartida, a biologia evolutiva está associada à história natural pós-darwiniana e se refere ao estudo de variações inter-individuais em *populações* de organismos. Essa preocupação pelo nível populacional pode ser mascarada por perguntas sobre o organismo individual, mas as perguntas do biólogo evolutivo são caracteristicamente do tipo “por que”: “por que a célula contém tal molécula?”, “por que este organismo realiza este processo metabólico?” e “por que os seres vivos são assim (e não de outras formas alternativas concebíveis)?”. É importante perceber que, mesmo fazendo perguntas como “por que esse organismo realiza esse processo metabólico?”, o biólogo evolutivo está pensando em um nível populacional. Perguntas do tipo “por que” pressupõem alternativas concebíveis, isto é, são sempre perguntas “por que esse e não outro?”. Assim, só fazem sentido se fizerem referência a uma população de alternativas diferentes, sendo algumas das quais mais bem-sucedidas do que outras (Sober, 1984). A biologia evolutiva é classicamente caracterizada como sendo mais observacional do que experimental, embora englobe disciplinas com alto grau de experimentação (Caponi, 2000).

Por exemplo, a constatação de que uma determinada flor reflete luz ultravioleta pode suscitar no biólogo funcional perguntas do tipo “como esse pigmento é produzido?” ou “qual a função desse pigmento para a planta?”. O biólogo evolutivo pode se perguntar “por que essa espécie de planta tem esse pigmento?": será uma pergunta pelo valor *adaptativo* daquele pigmento, isto é, qual a vantagem competitiva que a sua produção deu aos indivíduos de uma população na competição com outros indivíduos que não o produziam? O trabalho explicativo do biólogo evolutivo é orientado pelo princípio de seleção natural: “dada duas estruturas alternativas E_1 e E_2 , constatadas em uma população P , se E_1 constitui uma melhor resposta para a pressão seletiva S do que E_2 , com o curso das gerações, E_1 predominará em P ”¹.

Além de um modelo explicativo próprio, a biologia evolutiva tem uma noção anticonvencional de causalidade. Enquanto a biologia funcional investiga as *causas próximas* dos fenômenos biológicos, a biologia evolutiva tenta elucidar as *causas remotas*². Um exemplo de Mayr ajuda a entender esse ponto: suponhamos que se constate que uma determinada espécie de pássaro inicie sua migração em um dia do

¹ V. Sober (1993) e Caponi (2000) para outras formulações.

² Seguimos aqui a terminologia de Mayr (1988; 1998). A distinção encontra paralelos nas categorias causais aristotélicas: as causas próximas são afins às eficientes, e as causas remotas, às finais.

início do inverno (cf. Mayr, 1988, p. 27s). Diante da pergunta “o que *causou* a migração daquele pássaro?”, podemos formular dois tipos de resposta. O primeiro tipo apontará como causas as respostas *fisiológicas* do pássaro à fotoperiodicidade e à diminuição da temperatura – é uma resposta que diz respeito às causas próximas da migração, porque podem ser percebidas *no organismo individual* e leva em conta uma ou poucas gerações. O segundo tipo de resposta apelaria a causas remotas, ou seja, pressões seletivas como a escassez de alimento durante o inverno, que fixaram o comportamento migratório naquela espécie de pássaro. Essa segunda explicação pressupõe que, em um determinado momento da história evolutiva da espécie, havia duas variantes de indivíduos: aqueles que realizavam o comportamento migratório e outros que não. Os indivíduos que migravam durante o inverno receberam algum tipo de recompensa – por exemplo, mais alimento – e, com isso, obtiveram maior sucesso reprodutivo diferencial do que os indivíduos que não praticavam o comportamento.

A problemática que estamos delimitando aqui se insere, então, na biologia evolutiva, que caracterizamos como o campo da biologia que estuda mudanças na composição das populações causadas por forças evolutivas (causas remotas³). No entanto, para entendermos contra quais pontos as teses da auto-organização e da contingência buscam fazer frente, é necessário detalharmos um conjunto de princípios que possamos identificar como a *visão aceita* do processo evolutivo.

1.2 Darwinismo, neodarwinismo, pluralismo

Há, pelo menos, dois modos gerais de caracterizar essas grandes tradições científicas das quais a biologia evolutiva é um exemplo: a primeira seria descrevê-la como uma linhagem de idéias e métodos de estudo acerca do mundo natural, transmitidos de professor para aluno; a segunda seria apontar um núcleo conceitual ou conjunto de princípios imutáveis que identificasse o trabalho de um determinado cientista sem que tivéssemos de nos reportar à história acadêmica dele. Uma abordagem semelhante ao primeiro tipo é a epistemologia evolutiva de David Hull (cf. Ruiz e Ayala, 1998, para uma introdução), enquanto talvez o melhor exemplo do segundo tipo seja a reconstrução da estrutura da teoria evolutiva feita por Gould⁴ (2002).

³ As causas remotas “clássicas” correspondem às quatro forças da genética de populações: seleção, deriva, mutação e fluxo gênico. Esse repertório, entretanto, não pretende ser exaustivo.

⁴ É importante perceber que Gould tem um duplo papel em nossa investigação: ao mesmo tempo em que

Alternativamente, poderíamos adotar uma perspectiva intermediária e, seguindo Larry Laudan (1977), chamar a biologia evolutiva de uma *tradição de pesquisa*. As tradições de pesquisa, na terminologia de Laudan, são entidades mais amplas que as teorias científicas e estariam aproximadamente no mesmo nível de generalidade que os *paradigmas* de Kuhn e os *programas de pesquisa* de Lakatos (cf. Dutra, 1998). Os exemplos de tradições de pesquisa que Laudan dá são “o darwinismo, a teoria quântica e a teoria eletromagnética da luz” (1977, p. 78), porém ressalta:

Toda disciplina intelectual, científica ou não-científica, tem uma história repleta de tradições de pesquisa: empirismo e nominalismo em filosofia, voluntarismo e necessitarismo em teologia, behaviorismo e freudianismo em psicologia, utilitarismo e intuicionismo em ética, marxismo e capitalismo na economia, mecanicismo e vitalismo em fisiologia, para enumerar alguns poucos. (Laudan, 1977, p. 78)

Uma tradição de pesquisa é um conjunto de diretrizes para a construção de teorias científicas em específico e, portanto, tem uma longevidade muito maior que as teorias. Por isso, cada tradição de pesquisa passa por um grande número de formulações e reformulações, às vezes mutuamente contraditórias (cf. Laudan, 1977, p. 79). Dada sua natureza histórica, uma tradição de pesquisa pode sofrer vastas modificações em alguns de seus elementos mais centrais, como alguns de seus principais pressupostos e teorias (Laudan, 1977, p. 96). De certa forma, as tradições de pesquisa são mais do que linhagens de pesquisadores, mas também são mais flexíveis que núcleos conceituais imutáveis.

Reconstruir a biologia evolutiva como uma tradição de pesquisa, então, é reconhecê-la como uma entidade histórica, que sofreu mudanças em seu núcleo conceitual, mas que, de alguma forma, manteve sua identidade. Poderia-se argumentar que o que dá unidade à biologia evolutiva é o reconhecimento da seleção natural como força evolutiva ou, em termos mais gerais, a adoção de uma *perspectiva seletional* da evolução (v. capítulo 4). Entretanto, diferentes pesquisadores deram diferentes pesos ao papel da seleção natural como causa da mudança evolutiva, sem falar nas mudanças conceituais causadas pelas próprias descobertas na área.

Então, se visualizássemos a história da biologia evolutiva como uma árvore,

contribui para o estabelecimento da base conceitual (nesse sentido, as referências são Gould, 1982; 1994a; 2002), é também um dos protagonistas da problemática (Gould, 1986; 1990; 1994b; 1995; 1997; 2001).

semelhante à metáfora da árvore da vida que Darwin tornou famosa (Gayon, 2003), poderíamos fazer três secções transversais que correspondem a três grandes momentos de definição de núcleos conceituais. Um primeiro momento, que poderíamos chamar de *darwinismo* em um sentido estrito, é o estabelecimento dos três princípios que Gould (2002) propôs como definitórios da seleção natural tal como apresentada por Darwin: *agência*, *eficácia* e *alcance* (v. seção 1.2.1, a seguir). O chamado “eclipse” do darwinismo (Bowler, 1998), no fim do século 19 e início do 20, foi, segundo Gould (cf. 2002, p. 12-3), um período em que concepções alternativas de evolução desafiaram esses princípios, fazendo-os temas centrais de importantes debates. O segundo momento é o *neodarwinismo*, que teve início com a instauração da Síntese Moderna, a partir da década de 1930, e foi um *endurecimento* em torno dos três princípios, munido por resultados das pesquisas em genética de populações. Por fim, o terceiro momento, que teve início no terço final do século 20, e continua até hoje, é marcado por um novo questionamento dos princípios estabelecidos por Darwin, desta vez originado dentro da própria biologia evolutiva. Se percebe, então, um *pluralismo*⁵ que, segundo Gould (2002), resultará em uma estrutura revisada da teoria evolutiva.

Examinaremos a seguir cada um dos três momentos em maiores detalhes, mas cumpre realizarmos um breve esclarecimento. Existe certa tendência em caracterizar o momento pluralista que estamos vivendo hoje como uma espécie de “retorno com ressalvas” às idéias originais de Darwin; a síntese neodarwiniana, por sua vez, tende a ser vista como um episódio pontual e frutífero, porém limitado (Gould, 1982; Eldredge, 1995). Não é de nossa competência julgar tal interpretação, mas, dada a natureza de nossa investigação, inevitavelmente nos demoraremos mais sobre os princípios originais do darwinismo e sobre os recentes desafios pluralistas a essas concepções.

1.2.1 O darwinismo e a visão aceita

A teoria darwiniana da evolução, teoria central da biologia evolutiva como tradição de pesquisa, certamente não tem uma definição unívoca. Depew e Weber escrevem que “a idéia de seleção natural é o núcleo conceitual da tradição darwiniana de pesquisa” (1995, p. 3). Enquanto concordamos com essa afirmação, não deixamos de reconhecer que existem diferentes aspectos da seleção natural e, a cada um deles, pode ser atribuído

⁵ Embora Gould se auto-denomine pluralista, estamos aqui usando o termo “pluralismo” em um sentido bem específico: designar a noção de que a seleção natural, embora ainda ocupe um lugar central na biologia evolutiva, não é mais totipotente quanto à agência, eficácia e alcance (v. a seguir).

um peso diferente, resultando em diferentes formulações da teoria evolutiva. Tentaremos, nessa seção, identificar esses aspectos e estabelecer qual o peso dado a eles pelo próprio Darwin.

Gould escreve, no artigo “Darwinism and the Expansion of Evolutionary Theory” (1982), que, ao mesmo tempo em que estabeleceu o fato da evolução das espécies, Darwin também propôs um mecanismo (a seleção natural) por meio do qual ela ocorreria. Gould enfatiza ainda o papel central que a seleção natural cumpre no darwinismo, salientando que ela é entendida por Darwin como uma força criativa. Em um desenvolvimento posterior, essa idéia se tornou um dos três princípios que são, na opinião de Gould, o tripé que sustenta a estrutura da teoria evolutiva. Podemos resumir esses princípios que caracterizam a seleção natural, no sentido estritamente darwiniano, associando-os às seguintes afirmativas (cf. Gould, 2002, p. 14-5):

- *AGÊNCIA*. Os organismos (e não as espécies ou outros *taxa* maiores) são o foco da seleção natural.
- *EFICÁCIA*. A seleção natural é a *vera causa* da mudança adaptativa. Além disso, é uma força criativa na medida em que não for vista como simples “peneira”, mas como um processo de acumulação gradual de mutações favoráveis através das gerações.
- *ALCANCE*. A macroevolução é uma consequência da microevolução⁶, ou seja, só há um mecanismo evolutivo (a seleção natural), e o surgimento de *taxa* maiores se dá pela extrapolação, no tempo geológico, desse mecanismo.

No entanto, esses princípios só fazem sentido dentro de um contexto maior, que estabeleça aspectos mais gerais da ação da seleção natural. De certa forma, esse contexto mais geral, que chamaremos de *visão aceita*, é menos controverso que os próprios princípios darwinianos (*stricto sensu*) enunciados por Gould. A visão aceita é um darwinismo no sentido amplo; é uma espécie de comprometimento mínimo para que se possa fazer biologia evolutiva. Segundo Kim Sterelny e Paul Griffiths, a tarefa da biologia evolutiva é explicar três fenômenos fundamentais: a diversidade das formas de

⁶ Microevolução se refere aos processos evolutivos verificados em espécies ou populações; a macroevolução diz respeito à evolução dos grupos taxonômicos (*taxa*) superiores, isto é, acima do nível do gênero.

organismos existentes, a adaptação e a ontogenia (1999, p. 22). Para esses autores, a visão aceita é uma espécie de lógica interna do processo evolutivo, um *modelo filogenético*, que dá conta de explicar a diversidade e a adaptação, entretanto não nos diz nada a respeito da relação entre ontogenia e filogenia⁷. Os princípios da visão aceita, tomados de Mayr (1998) e enunciados por Sterelny e Griffiths, são:

1. O mundo vivo em geral não é constante; mudanças evolutivas ocorreram.
2. As mudanças evolutivas têm um padrão arborescente. As espécies hoje vivas são descendentes de um (ou poucos) ancestral(is) remoto(s).
3. Novas espécies se formam quando uma população se divide e os fragmentos divergem. Mais especificamente, a maioria das novas espécies é formada pelo isolamento de sub-populações na periferia do domínio da espécie ancestral.
4. As mudanças evolutivas são graduais. Poucos organismos que diferem dramaticamente de seus pais sobrevivem para fundar populações.
5. O mecanismo para as mudanças adaptativas é a seleção natural. (Sterelny e Griffiths 1999, p. 31)

Algumas considerações sobre a visão aceita merecem ser feitas. Em primeiro lugar, ela não é diretamente um modelo explicativo; o *princípio de seleção natural* (v. seção 1.1) é, mais propriamente, o modelo explicativo da visão aceita. Quer dizer, a visão aceita é uma concepção abstrata de evolução, necessária para que se faça pesquisa em biologia evolutiva, mas o trabalho efetivo do biólogo é a aplicação do princípio de seleção natural a casos concretos. Em segundo lugar, talvez os três princípios a respeito da seleção natural caibam como um detalhamento do item 5 da visão aceita (“o mecanismo para as mudanças adaptativas é a seleção natural”). Com essa inclusão e considerando ainda o item 4 (“as mudanças evolutivas são graduais”), se torna patente que a visão aceita é uma concepção microevolutiva. De fato, precisamente o gradualismo e os princípios da agência e do alcance são os preceitos darwinianos mais contestados pelos teóricos da macroevolução (cf. Eldredge, 1995; Gould, 2002). A macroevolução, por definição, se refere a um nível hierárquico maior que o da espécie

⁷ Entendemos aqui “filogenia”, “processo evolutivo” e “evolução” como sinônimos que se referem ao conjunto de micro e macroevolução, embora estejamos cientes de que uma análise mais fina revela diferenças semânticas entre esses termos. “Ontogenia”, por sua vez, é o desenvolvimento do organismo individual até a fase adulta.

(contra o princípio da agência); além disso, segundo os macroevolucionistas, a evolução ocorre de forma saltacionista (contra o gradualismo) e tem seus próprios processos⁸ independentes, em certa medida, da microevolução (contra o princípio do alcance).

De qualquer maneira, é contra a visão aceita, enriquecida pelos três princípios de Gould, que iremos contrastar as teses da auto-organização e da contingência. Em nossa caracterização do darwinismo, deixamos de fora inúmeros aspectos epistemológicos que certamente dariam origem a outras proveitosas discussões; ironicamente, sequer citamos Darwin. Porém, nossa omissão é estratégica: voltaremos a discutir o darwinismo à luz de um vocabulário filosófico na seção 1.6.

1.2.2 *O neodarwinismo*

Poderíamos descrever brevemente a síntese neodarwiniana como o aporte de métodos, resultados e conceitos da genética de populações para a consolidação dos princípios darwinianos de que falamos na seção anterior⁹. A genética de populações permitiu que a evolução fosse definida e medida como mudanças nas frequências gênicas das populações. Essas mudanças, para os geneticistas de populações, são resultantes da interação de quatro forças evolutivas: mutação, deriva genética, migração (fluxo gênico) e seleção. Nas palavras do biólogo evolutivo Douglas Futuyma:

Os princípios fundamentais da síntese evolutiva eram que as populações contêm variação genética que surge através de mutação ao acaso (isto é, não dirigida adaptativamente) e recombinação; que as populações evoluem por mudanças nas frequências gênicas trazidas pela deriva genética aleatória, fluxo gênico e, especialmente, pela seleção natural; que a maior parte das variantes genéticas adaptativas apresentam pequenos efeitos fenotípicos individuais, de tal modo que as mudanças fenotípicas são graduais [...]; que a diversificação vem através da especiação, a qual ordinariamente acarreta a evolução gradual do isolamento reprodutivo entre populações; que esses processos, se continuados por tempo suficientemente longo, dão origem a mudanças de tal magnitude que facultam a designação de níveis taxonômicos superiores (gêneros, famílias, e assim por diante). (Futuyma, 2003, p.13)

O neodarwinismo, então, transformou a teoria evolutiva em uma teoria de forças (Sober, 1984); assim, definiu com rigor matemático não só os conceitos, mas também o

⁸ Se há ou não processos causais estritamente macroevolutivos será assunto de outras investigações.

⁹ Um detalhamento da história da síntese foge aos nossos propósitos. Uma boa referência histórica é Sturtevant (2001 [1965]). Para uma interpretação da síntese, ver o capítulo 7 de Gould (2002).

ideal de ordem natural (Toulmin, 1961; Caponi, 2004a) da biologia evolutiva: a lei de Hardy-Weinberg. Um ideal de ordem natural é um princípio metafísico, inerente a uma teoria científica, que postula o estado natural das coisas de acordo com aquela teoria; é uma alusão ao conjunto de fenômenos que não demanda explicação. Na física newtoniana, por exemplo, o princípio da inércia é o ideal de ordem natural: o repouso e a inércia não precisam de explicações dentro da teoria, mas o movimento sim. Então, a lei (também conhecida como princípio ou equilíbrio) de Hardy-Weinberg nos diz o que acontece com as frequências de dois alelos em uma determinada população sobre a qual nenhuma das quatro forças evolutivas esteja agindo.

Nas décadas de 1920 e 1930, os geneticistas de populações R. A. Fisher, J. B. S. Haldane e S. Wright trataram algebricamente (diríamos, analiticamente: v. seção 4.2.3) a lei de Hardy-Weinberg, derivando os efeitos evolutivos do tamanho da população, da intensidade da pressão seletiva, da taxa de mutação, dentre outros. Uma segunda geração da síntese, epitomizada pela figura de Theodosius Dobzhansky, buscou aplicar esses resultados a populações reais (Sturtevant, 2001 [1965]). O darwinismo, que tinha uma formulação frouxa até a síntese neodarwiniana, com ela passa a se legitimar, instituindo rigorosamente sua própria metodologia e ontologia.

1.2.3 O pluralismo

A síntese neodarwiniana foi um consenso limitado (Gould, 2002); algumas disciplinas biológicas, como a biologia do desenvolvimento e o estudo da macroevolução, foram deixadas de fora¹⁰. A partir da década de 1970, há esforços renovados em integrar esses campos à biologia evolutiva, e uma das figuras de destaque nesse cenário é, uma vez mais, Gould. Além de ser o autor da obra que reviveu os debates sobre a relação entre ontogenia e filogenia (Gould, 1977; cf. Arthur, 2002), também deu contribuições importantíssimas à paleobiologia macroevolutiva¹¹ (v.

¹⁰ Estritamente falando, entretanto, o paleontólogo George Gaylord Simpson, que talvez possa ser considerado o fundador da paleobiologia (v. nota seguinte) e do estudo da macroevolução tal como entendidos hoje, participou da síntese neodarwiniana. No entanto, sua interpretação inicialmente inovadora, que postulava mecanismos macroevolutivos com relativa independência da microevolução, mais tarde se desvirtuou, prezando os mecanismos microevolutivos (cf. Gould, 1994a; Gould, 2002, p. 530).

¹¹ A paleobiologia é o estudo quantitativo (em comparação com a abordagem mais qualitativa da paleontologia clássica) do registro fóssilífero. Assim, ao invés de focar aspectos de classificação filogenética, aborda eventos de extinção, diversificação e especiação, bem como padrões de variação,

Gould, 1995, para uma breve retrospectiva). Conforme mencionamos, para Gould, a síntese, sendo um endurecimento dos três princípios darwinianos, teria passado por cima de outros aspectos importantes do fenômeno evolutivo, os *estruturais* e os *históricos* (v. a seguir). A biologia do desenvolvimento e a macroevolução, ao enfatizar, respectivamente, cada um desses aspectos, poderiam ter fornecido contribuições importantes à síntese (Gould, 2002).

Niles Eldredge, colega de Gould, descreve a situação atual da biologia evolutiva como uma divisão entre *ultradarwinistas* e *naturalistas* (1995). Os ultradarwinistas são figuras como John Maynard Smith (aluno de J. B. S. Haldane), Richard Dawkins e George Williams, responsáveis por propagar uma visão genecentrista e adaptacionista (Gould e Lewontin, 1979) da evolução, remanescente do neodarwinismo. Os naturalistas, como os paleobiólogos, ecólogos e sistematas, em contapartida, defendem uma abordagem anti-reducionista da evolução, reconhecendo a complexidade dos fenômenos biológicos e, freqüentemente, buscando causas extra-biológicas para os fenômenos estudados. Diante de uma extinção em massa, por exemplo, um ultradarwinista poderia apontar um fator biológico como causa do evento, por exemplo, uma situação de má adaptação dos organismos extintos em relação a seu ambiente. Um naturalista, por outro lado, procuraria por causas físicas, como impactos de meteoros e episódios de resfriamento global¹².

Gould propõe um outro esquema conceitual que, acreditamos, nos permite entender as diferentes visões teóricas sobre a evolução com uma clareza maior do que a simples divisão entre ultradarwinistas e naturalistas. Poderíamos dividir os teóricos de acordo com as influências que eles consideram mais importantes na determinação da ordem (ou forma) dos organismos: os funcionalistas (não biólogos funcionais, mas o equivalente gouldiano dos ultradarwinistas), os historicistas e os estruturalistas. De maneira geral, os historicistas e os estruturalistas, na medida em que buscam fatores não estritamente biológicos (leia-se: “não estritamente adaptativos”) na determinação da ordem biológica, podem ser considerados naturalistas no sentido de Eldredge (1995).

O esquema apresentado na figura 1.1, chamado de *triângulo adaptativo*, ilustra de

abundância e distribuição espaço-temporal de *taxa* fósseis (cf. as diretrizes para publicação do *Journal of Paleontology* e as do *Paleobiology*, ambos publicados pela Paleontological Society: <http://www.paleosc.org>).

¹² Para a distinção entre causas biológicas e físicas das extinções, v. Raup (1991).

forma simples as diferentes influências que podem ocorrer sobre a ordem biológica. Cabe ressaltar que o termo “triângulo aptativo” se refere ao conceito de *aptação*¹³ de Gould e Elisabeth Vrba (1998 [1982]). Nesses termos, dizer que toda a ordem biológica provém de *adaptações* é enxergar apenas parte do quadro geral da evolução. Gould nos diz, com esse esquema, que qualquer aptação pode ter sido (1) construída por um processo que diretamente a lapidou para sua função atual – aqui sim, é uma adaptação (vértice funcional); (2) herdada de uma forma ancestral (vértice histórico); ou (3) construída por um mecanismo ou processo estrutural não diretamente relacionado às, ou engendrado pelas, necessidades funcionais da população (vértice das influências formais ou estruturais; Gould, 2002, p. 1052). Entre os mecanismos ou processos estruturais, duas diferentes causas produzem estruturas aptativas: (1) a modelagem física do material plástico de que são feitos os organismos; e (2) o que Gould chama de seqüelas arquiteturais, *spandrels* (Gould e Lewontin, 1979), conseqüências não-adaptativas de outras características que, mais tarde, se tornam disponíveis para co-opção com fins aptativos em *taxa* descendentes, isto é, se tornam exaptações (Gould, 2002, p. 81).

¹³ Gould e Vrba chamam atenção para o fato de que a palavra “adaptação” vem de *ad* e *aptus*, ou seja, “apto *para* alguma coisa”. Assim, criaram o termo “exaptação” (*ex* e *aptus*, “apto a partir de”) para designar características que, embora não cumprissem inicialmente um papel adaptativo, no momento em que passam a fazê-lo, são selecionadas. Adaptações e exaptações fazem parte de uma categoria mais ampla de Gould e Vrba, a das *aptações*. Nas palavras de Gould e Vrba, “[o] fenômeno geral e estático de estar apto deveria ser chamado ‘aptação’, não ‘adaptação’” (Gould e Vrba, 1998 [1982], p. 55).

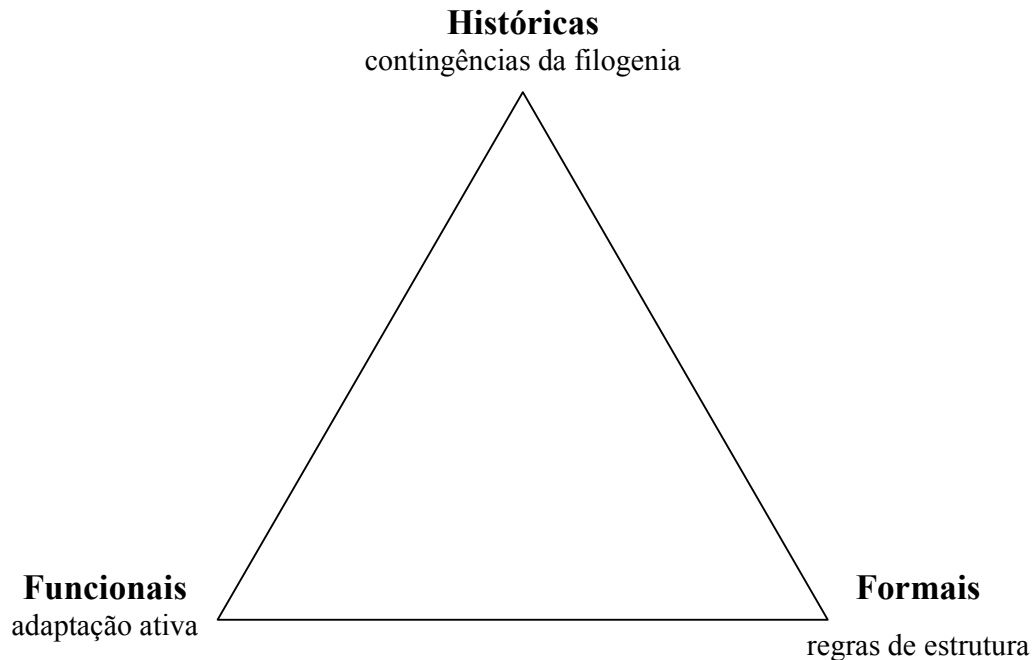


Figura 1.1 O triângulo aptativo das influências sobre a ordem biológica
(extraído de Gould, 2002, p. 259).

Agora, o triângulo pode servir para posicionar diferentes teóricos da evolução de acordo com o peso que dão para cada um dos três fatores. Conforme já mencionamos, os ultradarwinistas de Eldredge (1995), por exemplo, privilegiariam o vértice funcional em detrimento dos outros dois. Um estruturalista como Brian Goodwin¹⁴ se ocuparia do vértice estrutural, enquanto um cladista centraria sua atenção nos aspectos históricos da determinação da forma (Gould, 2002, p. 1060). É importante perceber que Darwin, embora tenha detalhado e privilegiado as influências funcionais (adaptativas) na determinação de caracteres morfológicos, não negligenciou de todo os outros dois vértices. De fato, Gould salienta que a preocupação histórica pela forma, traduzida no raciocínio “unidade do tipo, logo ascendência comum”¹⁵, é uma invenção darwiniana (Gould, 2002, p. 256-7).

1.3 Perguntas

A dualidade entre os aspectos nomológico e histórico de que falávamos se enquadra no esquema que acabamos de definir. Trivialmente, pode-se dizer que algumas

¹⁴ Na seção 4.2, definiremos com maior precisão a tradição estruturalista e o programa de Brian Goodwin.

¹⁵ Esse raciocínio é inclusive chamado de *modus Darwin* por Elliott Sober (1988).

abordagens contingentistas (no sentido de que ocupam o vértice histórico do triângulo aptativo) buscam resgatar os aspectos históricos, não-legaliformes, da história da vida. Aspectos nomológicos, por sua vez, ocupam tanto o vértice funcional quanto o estrutural, mas é nesse último que aparecem com mais rigor, quando entendemos estruturalismo como o estudo das influências físicas sobre o material de que são feitos os organismos. As regularidades que ocupam o vértice funcional, por sua vez, são aquelas próprias à genética de populações, ou seja, são extensões do mecanismo regular que é a seleção natural.

De maneira geral, as abordagens historicistas são motivadas por uma crença de que é impraticável estudar a biologia por meio de leis, e por isso se opõem aos vértices funcionalista e estruturalista. Os estruturalistas, pelo contrário, acreditam que a biologia tem de buscar leis tão rigorosas quanto aquelas encontradas na física, e polemizam ainda com os funcionalistas ao argumentar que a seleção natural não dá conta de produzir a totalidade das formas dos organismos existentes.

Estamos agora em uma posição que nos permite formular nossa problemática em termos mais precisos. Em um primeiro momento, investigaremos uma abordagem considerada estruturalista (a tese da auto-organização de Kauffman) e uma claramente historicista (a tese da contingência de Gould), comparando cada uma delas com a visão aceita (seção 1.2.1), que representaria o vértice funcional. Compararemos, também, as duas teses entre si, mas somente após discutirmos se Kauffman realmente pode ser considerado um estruturalista, e quais as implicações do modelo de explicação proposto por Gould para a paleobiologia. Na tabela 1.1, resumimos as perguntas que orientam nossa investigação e em quais capítulos ou seções elas recebem tratamento explícito.

Tabela 1.1 Visão geral da estrutura desta dissertação, enfocando as perguntas que orientam cada um dos capítulos ou seções do trabalho.

Pergunta	Capítulo/Seção
Como a tese da auto-organização se relaciona com a visão aceita?	2
Como a tese da contingência se relaciona com a visão aceita?	3
A caracterização que se faz de Kauffman como estruturalista é adequada?	4.2
Quais as implicações da tese da contingência para o tipo de explicação proposto por Gould para a paleobiologia?	4.3
Como as teses da auto-organização e da contingência se relacionam entre si?	4.4

A seguir, apresentaremos brevemente cada uma das duas teses, e na seção final deste capítulo assentaremos a base filosófica sobre a qual nossa discussão será edificada.

1.4 Seleção natural e auto-organização

Auto-organização é o nome dado a uma série de fenômenos em que padrões no nível global de um determinado sistema emergem espontaneamente, somente a partir de interações entre as subunidades do sistema (Anderson, 2002). Se há informações vindas do exterior, ou se os padrões são impostos artificialmente ao sistema, não há auto-organização (Maynard Smith, 1998). Uma comparação com o trabalho humano nos ajuda a compreender esse ponto:

Considere, por exemplo, um grupo de trabalhadores. Falamos então de organização ou, mais exatamente, de comportamento organizado se cada trabalhador atua de uma maneira bem definida sobre ordens dadas externamente, isto é, pelo chefe. Chamá-riamos este mesmo processo de auto-organizado se não houver ordens externas, mas os trabalhadores trabalham juntos por alguma espécie de consentimento mútuo. (Haken, 1970 *apud* Camazine et al., 2003, p. 8)

Kauffman é um dos pesquisadores ligados ao estudo da auto-organização que mais se preocupa em apontar implicações que seus resultados podem ter para a biologia evolutiva. A chamada *hipótese ousada* de Kauffman é a idéia de que a auto-organização, como propriedade dos seres vivos, seria uma *condição* para a ação da seleção natural. Ao mesmo tempo, defende Kauffman, a seleção natural por si própria *otimiza* a capacidade de auto-organização. Realizando diversos experimentos com simulação computacional, Kauffman mostrou, por exemplo, que sistemas que não possuam a propriedade de auto-organização são incapazes de desenvolver adaptações: poderia-se dizer que são *refratários* à ação da seleção natural. Sua obra principal, *The Origins of Order* (1993) é um apanhado exaustivo desses experimentos (além de alguns experimentos convencionais) que buscam explicitar a relação entre auto-organização e seleção natural.

Os capítulos iniciais dos livros de Kauffman sobre auto-organização (1993; 1995) estabelecem os termos para uma abordagem formal do problema da origem da vida. O modelo apresentado é bastante semelhante à clássica “sopa primordial”, embora Kauffman prefira o termo *rede metabólica*. O argumento é que, dada uma “sopa” de elementos que catalizem reações entre si, mesmo que as probabilidades dessas “catálises mútuas” sejam muito pequenas, a formação de uma rede fechada de reações ocorre espontaneamente. Quer dizer, o produto de uma reação passa a ser o catalizador de outra, e assim por diante, até que o conjunto se assemelhe bastante a vias metabólicas

dos organismos que conhecemos. Isso significa, para Kauffman, que as redes metabólicas se *auto-organizam* (Kauffman, 1997).

Assim, por exemplo, podemos ter uma “sopa” de dois elementos, *A* e *B*: *A* pode catalizar a reação entre *A* e *B* formando o elemento *AB*, que por sua vez pode catalizar a reação entre ele mesmo e *B*, formando *ABB*, etc. Segundo Kauffman, condições desse tipo são plausíveis em um cenário para o início da vida, dado que existem muitas moléculas simples com a propriedade de *auto-catálise*¹⁶ (Kauffman, 1995).

As redes metabólicas são, para Kauffman, o paradigma de sistema auto-organizante: elas podem não somente ser um bom modelo para a origem da vida, como também nos revelar *insights* sobre a relação entre auto-organização e seleção natural. Em relação ao segundo aspecto, Kauffman tinha a intuição de que diferentes níveis de *conectividade* entre os elementos promoveriam diferenças no comportamento evolutivo da rede como um todo. Para testar essa hipótese, ele criou um modelo de simulação computacional a partir da idéia de rede metabólica: as *redes booleanas aleatórias*.

Nas redes booleanas aleatórias, que definiremos em maiores detalhes no capítulo 2, cada elemento (molécula) de uma rede metabólica é descrito por uma variável binária (ou seja, pode assumir o valor 0 ou o valor 1), que representa a presença ou ausência daquele elemento na rede. Esses elementos estão conectados entre si, isto é, a presença ou ausência de um elemento depende da presença ou ausência de outros *K* elementos, de acordo com funções booleanas (lógicas) escolhidas aleatoriamente. A variável *K*, de suma importância para o entendimento da tese da auto-organização de Kauffman, é uma medida de conectividade: se $K = 2$, cada elemento da rede booleana está conectado a outros dois. O estudo da relação entre *K* e o número *N* de elementos da rede permitiu que Kauffman estabelecesse um repertório de comportamentos possíveis das redes booleanas. Submetendo essas redes a simulações de fenômenos de seleção natural (v. seções 2.4.3 e 2.5), Kauffman foi capaz de determinar qual o valor de *K* para que a seleção natural gere adaptações da maneira mais eficaz possível.

1.5 A tese da contingência evolutiva

Biólogos e leigos se maravilham com a história da vida na Terra. A conjunção de fatores – de contingências, diria Gould (1990) – que desembocaram na vida inteligente

¹⁶ Uma molécula auto-catalítica consegue, à semelhança de *A* no exemplo que demos, catalisar a reação entre ela mesma e outra molécula.

é irreprodutível. A estupefação de Gould diante da fragilidade da linha (ou melhor, linhagem) que conduz até nós, seres humanos, começa com uma contemplação do fenômeno conhecido como Explosão Cambriana. Durante o período Cambriano, há aproximadamente 540 milhões de anos, rapidamente apareceram muitos planos morfológicos díspares, uma cornucópia de variedade que, segundo Gould, não encontra paralelo na história da vida. A essa explosão, rapidamente se seguiu uma extinção massiva que eliminou os *taxa* hegemônicos, mas que surpreendentemente poupou um táxon minoritário, o *Pikaia*, um dos ancestrais dos cordados que conhecemos hoje. Se, por alguma razão, o *Pikaia* tivesse sido extinto, escreve Gould, a Terra não teria cordados, tampouco seres humanos (Gould, 1990).

Gould sugere que não há por que pensarmos que o surgimento e a sobrevivência de *Pikaia*, ou mesmo de qualquer *taxon*, sejam, em algum sentido, necessários. Se rebobinásemos a fita da vida e a tocássemos novamente, nos diz Gould (1986), temos todas as razões para pensar que a história seria diferente e, muito provavelmente, o *Homo sapiens* sequer estaria no elenco. Na verdade, experimentos de pensamento desse tipo são chamados de *histórias contrafatuais*, isto é, versões alternativas, diferentes da “História” que realmente aconteceu. Sterelny e Griffiths (1999) lêem que um processo aberto a contingências, para Gould, não apresentaria *resiliência contrafatural*, ou seja, capacidade de “regeneração” frente a histórias contrafatuais. Com esse termo, resiliência contrafatural, é possível esclarecer com bastante especificidade o que Gould quer dizer com “processo aberto a contingências”. Afinal, poderíamos argumentar que a tese de Gould é trivial, que qualquer processo está aberto a contingências. Claramente, entretanto, Gould não diria que o desenvolvimento embrionário está aberto a contingências no sentido que emprega em *Vida Maravilhosa* (1990). Para colocar as conclusões de Gould usando as palavras de Sterelny e Griffiths, o desenvolvimento embrionário *apresenta* resiliência contrafatural, enquanto o processo evolutivo *não*. Em certo sentido, a filogenia tem muito mais opções de vias a percorrer do que a ontogenia.

Essa enormidade de opções inviabiliza, segundo Gould, quaisquer tentativas de *prever* o estado futuro de uma determinada população. Deste fato, Gould conclui que não se pode *explicar* as mudanças evolutivas de larga escala (isto é, mudanças macroevolutivas) como sendo acumulações de mudanças graduais ocorrendo em espécies, na vastidão do tempo geológico¹⁷. Claramente, então, a visão aceita é

¹⁷ Essa visão, que pode ser considerada uma formulação do princípio do alcance, é chamada por Gould de

extrapolacionista, pois envolve o princípio do alcance e atesta explicitamente que as mudanças evolutivas são graduais. Gould parece nos alertar que o perigo do extrapolacionismo está na tentativa de transformar em nomológico algo que é contingente. Mas é importante, conforme veremos, não confundir macroevolução e microevolução: pode ser que o extrapolacionismo, e a visão aceita em geral, forneça bases suficientes para a explicação da *microevolução*.

1.6 Poder causal e poder explicativo da seleção natural

Responder às perguntas que propusemos na seção 1.3 requer a importante distinção, proposta pelo filósofo da biologia Jean Gayon, entre *poder causal*¹⁸ e *poder explicativo*, atribuídos respectivamente à *seleção natural* enquanto agente produtor da mudança adaptativa, e ao *princípio* de seleção natural enquanto princípio explicativo de uma classe de fenômenos (Gayon, 1997). A distinção, segundo Gayon, pode ser entendida a partir do próprio Darwin, para quem a seleção natural tinha um poder soberano em *causar* a mudança adaptativa (ou seja, as adaptações são, por definição, o produto da ação da seleção natural). Modernamente, entretanto, o poder da seleção natural tem sido criticado em um outro sentido, que não está explícito em Darwin: trata-se de seu poder explicativo. A medida do poder explicativo do princípio de seleção natural é quais classes independentes de fenômenos ele consegue explicar. Nas palavras de Gayon:

[E]xtinção, divergência, ou padrões de classificação, enquanto possam ser apresentados como conseqüências da seleção natural, pertencem a seu poder explicativo. Entretanto, o próprio Darwin não falava do “poder” da seleção nesse sentido. Ao invés disso, ele costumava restringi-la [a seleção] à explicação de apenas uma classe de fenômenos, a modificação adaptativa das espécies. É somente neste contexto preciso que ele qualificava a seleção como um “poder soberano” [*paramount power*], ou simplesmente (na *Origem das Espécies*) como um “poder”, ou então como “agente”. No vocabulário filosófico espontâneo de Darwin, o *poder* da seleção, seja artificial ou natural, consistia no resultado imediato de sua *ação*. Em outros contextos explicativos, ele preferia dizer que a seleção natural “acarreta”, “leva a”, “explica”, “induz” ou mesmo “causa”, por exemplo, a extinção, a divergência, ou as afinidades. (Gayon, 1997, p. 266)

extrapolacionismo (v. capítulo 3).

¹⁸ A expressão é nossa; Gayon se remete constantemente à expressão “poder soberano”, utilizada por Darwin em *As Variações dos Animais e Plantas sob Domesticação* (1883 [1868]).

Gayon traça ainda um breve panorama sobre os usos das expressões “hipótese” e “teoria” da seleção natural em Darwin. Na introdução à *Variação*, Darwin comenta que “[n]as investigações científicas, é permitido inventar qualquer hipótese, e se ela explicar várias classes amplas e independentes de fenômenos, se eleva ao nível de uma teoria bem-fundamentada” (Darwin, 1883 [1868], p. 9). Analogamente, a *hipótese* da seleção natural é derivada de algumas premissas empíricas, como a taxa de reprodução das espécies, a limitação dos recursos e “fatos” sobre variação e herança, por um lado, e o modelo da seleção artificial por outro (figura 1.2). A extensão dessa hipótese à explicação de fenômenos como os instintos animais, extinção, divergência, distribuição geográfica das espécies, afinidades e homologias, empreendida por Darwin nos capítulos 7 a 12 da primeira edição da *Origem*, constitui a *teoria* da seleção natural (parte inferior da figura 1.2; Gayon, 1997).

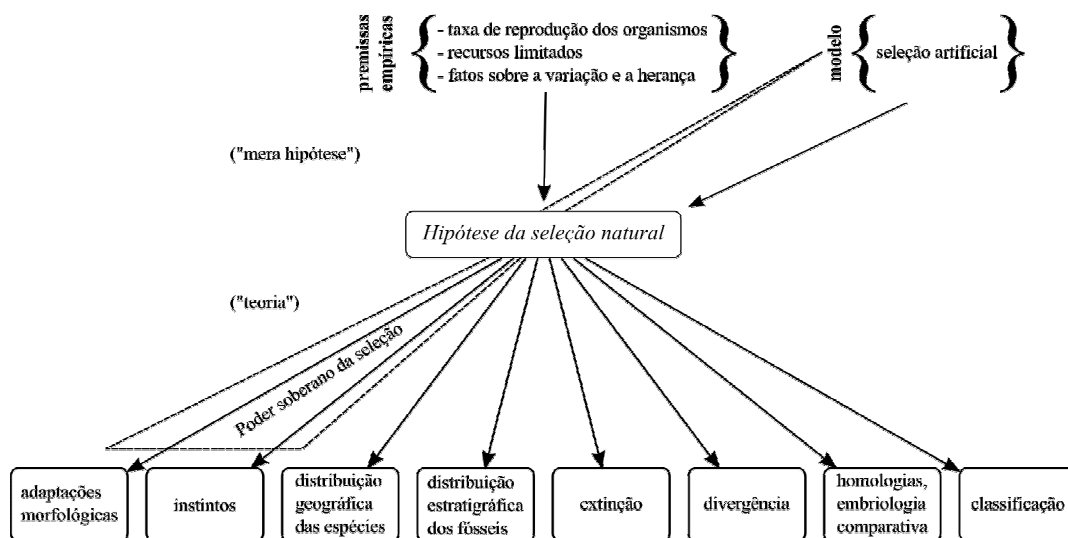


Figura 1.2 A relação entre hipótese, teoria, e as classes de fenômenos que podem ser explicados por ela, de acordo com Darwin (adaptada de Gayon, 1997).

Onde se encaixa, nesse quadro, o poder causal ou soberano da seleção natural? De todo o espectro de fenômenos passíveis de serem explicados pelo prisma da *hipótese*, Darwin invoca o poder soberano da seleção natural como causa das *adaptações morfológicas* e dos *instintos* (figura 1.2, parte inferior, à esquerda). Gayon esclarece que:

A afirmação de Darwin é de que a seleção, se não a única força orientando a mudança evolutiva, é capaz de driblar [*overcome*] qualquer outra força (como: variação aleatória, correlação de órgãos, ou o efeito do uso e desuso). Embora essa tese fosse absolutamente

crucial para Darwin, não deve ser confundida com a representação da seleção como unificando todo o campo da história natural da vida. Modificação das espécies é uma coisa; extinção, distribuição geográfica das espécies, divergência e diversidade (como refletidas na classificação) são outras. A tese do “poder soberano” está preocupada apenas com a modificação adaptativa das espécies. (Gayon, 1997, p. 269)

Conforme se pode perceber, na visão aceita, o poder *causal* da seleção natural no processo adaptativo está contemplado no item 5 (“o mecanismo para as mudanças adaptativas é a seleção natural”), aliado ao princípio de eficácia (seção 1.2.1). E, conforme atestam algumas releituras modernas (Gould, 1982; 2002; Sterelny e Griffiths, 1999), o princípio de seleção natural, por sua vez, parece ser o mais importante recurso *explicativo* da visão aceita. Talvez poderíamos rerepresentar o endurecimento da síntese, utilizando o “vocabulário filosófico espontâneo de Darwin”, como tendo extrapolado inescrupulosamente o *poder causal da seleção natural* para todas as classes de fenômenos da *teoria* da seleção natural. A seleção natural, e o respectivo princípio explicativo, acabaram sendo entronados pelo neodarwinismo como totipotentes em suas posições.

Toda a nossa investigação se articulará sobre a distinção que acabamos de apresentar: a afronta de Gould ao extrapolacionismo busca mostrar que o *poder explicativo* do princípio de seleção natural é insuficiente diante da história da vida na Terra; por outro lado, o próprio Gayon apresenta a tese da auto-organização de Kauffman como uma crítica ao *poder causal* da seleção natural (cf. Gayon, 1997). A pergunta sobre a relação das duas teses com a visão aceita passa necessariamente por uma avaliação sobre se essas críticas são de fato o que pretendem ser.

2 A TESE DA AUTO-ORGANIZAÇÃO

2.1 Apresentação

Incrustada no deserto do sudoeste norte-americano, em uma paisagem dominada por *mesas* e tingida de terracota, está a pitoresca cidade de Santa Fe. A arquitetura minimalista dos índios Pueblo é ubíqua, ostentando construções em adobe (mistura de argila e palha, seca ao sol) que poderiam ter sido projetadas por um Le Corbusier com gosto étnico. O aspecto planáltico que a ausência de telhados angulados confere àquelas construções parece querer imitar as *mesas*. Ao mesmo tempo, faz contraponto às encostas das montanhas Sangre de Cristo, no horizonte. Paradoxalmente, aquela paisagem elementar, minimalista como retratada nas telas de Georgia O’Keeffe, foi o local escolhido para a instalação de um dos mais importantes centros mundiais para o estudo da complexidade, o *Santa Fe Institute*.

De suas pesquisas naquele instituto, Stuart Kauffman reuniu os resultados que constituem o cerne de *The Origins of Order* (1993), seu *opus magnum*. Mas talvez o subtítulo de seu segundo livro, *At Home in the Universe* (1995), descreva melhor o fio condutor de todo o trabalho de Kauffman: “a busca pelas leis da auto-organização e da complexidade”. Explicitamente, a idéia de Kauffman é integrar estas “leis” ao quadro da seleção natural, na intenção de conceber uma visão mais adequada da evolução.

Neste capítulo, apresentaremos brevemente algumas questões históricas e metodológicas por trás das idéias de Kauffman e descreveremos o modelo por ele utilizado para fundamentar suas conclusões sobre auto-organização: as *redes booleanas aleatórias*. Por fim, gostaríamos de sugerir que o conceito de auto-organização em Kauffman tem duas conotações, “ordem gratuita” e “adaptabilidade”. A segunda delas tem maior pertinência para a presente discussão, em particular na formulação que Kauffman chama de “hipótese ousada” [*bold hypothesis*], que se refere à estreita interdependência entre seleção natural e auto-organização. Queremos identificar o que chamamos de tese da auto-organização com a hipótese ousada.

2.2 A inspiração da biologia molecular para a tese da auto-organização

O estudo da biologia funcional passou por uma radical “molecularização” durante o século 20, refletida na evolução da microscopia. Enquanto o poder de resolução dos melhores microscópios, no início daquele século, permitia apenas a visualização de organelas celulares, às margens do século 21, cientistas já eram capazes de visualizar os contornos dos átomos. Na medida em que a ontologia do conhecido e do “conhecível” no nível microscópico ia sendo preenchida, outras técnicas experimentais acompanharam o movimento.

A genética molecular é um dos grandes frutos dessas explorações; a descoberta do *operon lac*, por François Jacob, Jacques Monod, e André Lwoff, atesta a maturidade que as técnicas de experimentação molecular haviam atingido por volta de 1950, e é mostra da sedimentação da biologia molecular como disciplina (Morange, 1994, p. 194). Os próprios protagonistas da descoberta se preocuparam, nas décadas seguintes, em mostrar como ela poderia ser compatibilizada com o restante da biologia, e especialmente com a biologia evolutiva, escrevendo três grandes clássicos de divulgação científica.

Difícilmente, por exemplo, encontramos uma definição mais sucinta e precisa de *ordem biológica* do que no livro de Lwoff dedicado ao tema:

Um certo aspecto da ordem é o arranjo determinado presente na constituição existente das coisas. A ordem pode assim ser considerada uma seqüência, ou uma sucessão, no espaço ou no tempo. A ordem biológica é tudo isso, e especialmente uma seqüência no espaço e no tempo. A ordem biológica possui uma dualidade estrutural e funcional, estática e dinâmica. Os dois tipos de ordem, estrutural e funcional, representam os aspectos complementares do ser vivo. Um ser vivo é um sistema de ordem dupla. Devemos saber em que consiste esse duplo sistema. (Lwoff, 1969, p. 20)

Poderíamos dizer que esse conceito de ordem é subjacente a grande parte das discussões sobre ordem, organização, e mesmo *auto-organização*, que ocorreram na biologia do século 20. Certamente, é adequado para a presente discussão, e convém manter sua generalidade, porque combina com o ideal de *universalidade* buscado pelos experimentos de Kauffman. Conforme veremos adiante, Kauffman está preocupado com as influências lógicas sobre a ordem biológica em um âmbito bastante amplo.

Monod, particularmente, rejeita fortemente a necessidade de apelar ao que ele chama de *animismos* para explicar essa espantosa ordem bioquímica existente nos seres vivos.

O surgimento da ordem biológica, para ele, é resultante da seleção natural, à qual alude como um jogo entre *acaso* e *necessidade*. O primeiro é fonte de “invenções” cegas que, caso satisfaçam a necessidade, passam a figurar definitivamente na “certeza”, isto é, na ordem biológica (Monod, 1970).

De maneira semelhante, François Jacob compara a seleção natural à bricolagem. Jacob chama atenção para as diferenças entre o *bricoleur*¹⁹ e o engenheiro, mostrando como a seleção natural se aproxima daquele e não deste:

Semelhantemente [ao *bricoleur*], a evolução faz uma asa a partir de uma perna ou uma parte da orelha a partir de um pedaço de mandíbula. [...] A evolução se comporta como um *bricoleur* que, por eras e eras, vai modificando sua obra, incessantemente retocando, cortando aqui, emendando ali, aproveitando as oportunidades para adaptá-la progressivamente para seu novo uso. (Jacob, 1977, p. 1164)

A descoberta do *operon lac*, assim como tais declarações posteriores por parte dos descobridores, influenciou Kauffman em três sentidos. Em primeiro lugar, a idéia de *redes genômicas regulatórias*, cujo paradigma é o *operon lac*, está na base da concepção do modelo de redes booleanas aleatórias (v. seção 1.4):

Desde que Jacob e Monod descobriram que os produtos de um gene podem ativar ou reprimir as atividades de outros genes, os biólogos passaram a pensar no sistema genômico como um tipo de computador bioquímico. Os genes estruturais e regulatórios estão ligados em uma espécie de circuitaria, regulando e coordenando o comportamento uns dos outros. (Kauffman, 1992a, p. 167)

O segundo sentido da influência foi, por assim dizer, negativo. Enquanto Kauffman se entusiasmou (Lewin, 1994, p. 39) com a metáfora do computador bioquímico, não aceitou a idéia que a seleção natural era a única responsável pela ligação da circuitaria. Afinal, “[na] visão de mundo da bricolagem, a seleção é a única, ou se não a única, fonte preeminente de ordem” (Kauffman, 1992b, p. 305). Kauffman se mostrou incrédulo de que, a partir de um genoma de 100.000 genes, a seleção natural “teste” cada um dos $10^{30.000}$ *estados possíveis* (v. seções 2.4.1 e 2.4.2), “encontrando” o número ideal de tipos celulares que possam ser produzidos a partir deles (Kauffman, 1991,

¹⁹ Algumas tradutores utilizam o substantivo “remendão” (v. p. ex. a tradução de Talita M. Rodrigues em Dennett, 1998, p. 228) para traduzir *tinkerer* (do inglês) e *bricoleur* (do francês), mas optamos por preservar o original francês, mantendo-o em itálico, uma vez que o abasileiramento “bricolagem” já é bastante usado.

p. 69; Lewin, 1994, p. 40). A solução, “contra-intuitiva” nas palavras de Kauffman, é de que mesmo redes genômicas construídas ao acaso podem apresentar ordem espontânea, e configurar automaticamente um determinado número de tipos celulares:

Traçando a história dessa descoberta, a descoberta de que sistemas extremamente complexos podem exibir “ordem gratuita”, de que nossas intuições estavam profundamente enganadas, começa com a intuição de que mesmo “circuitos” moleculares aleatoriamente “ligados” [“wired”] e com “lógica” também aleatória exibiam comportamento ordenado se cada gene ou variável molecular fosse controlada por apenas alguns poucos outros [genes ou variáveis moleculares]. (Kauffman, 1992b, p. 305)

Frente a essa descoberta, a biologia teria de ser repensada, e a evolução rerepresentada como um “casamento entre seleção natural e auto-organização” (Kauffman, 1997, p. 133).

O terceiro ponto é que tanto Lwoff quanto Monod pareciam estar imersos no *Zeitgeist* da cibernética e da teoria da informação, ao se mostrarem preocupados em estabelecer uma “cibernética microscópica” (Monod, 1970, p. 87-107) e em provar que a vida não viola o segundo princípio da termodinâmica (Lwoff, 1969, p. 164-176; Monod, 1970). A seguir, comentaremos como a cibernética motivou a metodologia de simulação computacional de Kauffman.

2.3 A explicação por articulação de partes

Em um dos raros artigos em que comenta sobre seus pressupostos metodológicos, Kauffman (1998 [1970]) afirma que o trabalho de construção de hipóteses em biologia (diríamos, *funcional*) se dá por meio da postulação de modelos simbólicos que indiquem como as diferentes partes do sistema estudado poderiam se articular para produzir um determinado comportamento de interesse. Assim, as explicações biológicas seriam *explicações por articulação de partes*, contrastando com outros tipos de explicação, como algumas da física clássica, em que o comportamento de um sistema não é função da interação entre suas partes. Kauffman utiliza o termo *modelo cibernético* para designar o modelo simbólico que o biólogo constrói antes de apresentar um *modelo causal*:

O uso de uma descrição adequada de um organismo que faz algo em particular, para guiar nossa decomposição de tal organismo em suas partes e processos inter-relacionados – e que de fato parte da lógica da investigação –, está intimamente vinculado às *condições*

suficientes para uma descrição adequada. Em particular, podemos usar as condições suficientes para gerar um modelo cibernético que mostre como as partes simbólicas podem se articular para produzir uma versão também simbólica do comportamento descrito. [...] Podemos usar o modelo cibernético para nos ajudar a encontrar um modelo causal isomórfico que mostre como as supostas partes e processos do sistema real podem se articular para produzir o comportamento descrito. (Kauffman, 1998 [1970], p. 43)

Antes de apresentarmos em maiores detalhes a proposta da explicação por articulação de partes, cabe um comentário a respeito do uso do termo “cibernética” em Kauffman (1998 [1970]). Ao se reportar à cibernética, está endossando uma tradição de pesquisa que prima pela decomposição *lógica* do objeto de estudo. Conforme assinala Philippe Goujon (cf. 1999), a abordagem precursora da cibernética foi a formalização do conceito de máquina, feita na década de 1930 por Turing e outros autores. A cibernética seria a “concepção simbólica, lógica, operacional, mesmo informacional, da natureza” (Goujon, 1999, p. 104), desenvolvida nas décadas seguintes e levada a cabo por duas escolas diferentes (Primeira e Segunda). Da mesma forma que os autômatos de Von Neumann procuravam simular a auto-reprodução, não no nível genético ou bioquímico, mas “lógico” (Goujon, 1999, p. 109), Kauffman estava inicialmente interessado em criar um modelo *lógico* (ou cibernético *sensu* Kauffman) de “como a célula alcança sua individualidade” (Emmeche, 1994, p. 102).

Outra influência cibernética para Kauffman foi Warren McCulloch, um dos protagonistas da Segunda Cibernética e co-autor de um dos artigos fundadores da teoria de redes neurais (McCulloch e Pitts, 1943). Kauffman foi aluno de McCulloch no MIT e, juntos, escreveram o primeiro artigo contendo resultados de redes booleanas (Lewin, 1994, p. 60). Além disso, a idealização “ligado/desligado” para o gene foi inspirada pela teoria de redes neurais de McCulloch (Kauffman, 1993, p. 227).

Por fim, o modelo kauffmaniano de adaptação como um percurso em um *espaço de estados* de um sistema (v. seções 2.4.1 e 2.4.3) é inspirado pelo *Design for a Brain* (1960), de Ross Ashby, também da Segunda Cibernética (Kauffman, 1993, p. 209). Ashby também cunhou o conceito de auto-organização, que definiu como indicativo de uma máquina “determinada, mas ainda capaz de sofrer mudanças espontâneas de organização interna” (Ashby, 1947 *apud* Anderson, 2002, p. 248).

Creemos que as redes booleanas possam ser consideradas modelos cibernéticos (*sensu* Kauffman) de processos metabólicos, redes regulatórias genômicas ou de outros processos, não necessariamente biológicos, mas que envolvam a interação sincrônica

mediada por regras lógicas de elementos interconectados (Kauffman, 1993, p. 182-3; 1995, p. 77). A idéia é que, se Kauffman conseguisse mostrar que as regras lógicas são suficientes para descrever comportamentos como a diferenciação celular, uma boa parte da biologia moderna poderia ser descartada (cf. Sterelny e Griffiths, 1999, p. 375).

Justifica-se esse ponto pelo fato de que, embora Kauffman reconheça que um comportamento de um sistema pode ser descrito de diferentes maneiras, parece querer implicar que só uma delas se revelará bem-sucedida empiricamente²⁰. Sobre esse aspecto, vale lembrar que Kauffman não está propondo um *modelo* explicativo, e sim um conjunto de diretrizes para a formulação de *hipóteses* explicativas (os modelos cibernéticos) em biologia funcional. Diferentes modelos cibernéticos de um mesmo comportamento são hipóteses explicativas concorrentes que apontam conjuntos alternativos de causas suficientes²¹ que, por sua vez, levam a cabo o comportamento em questão. O modelo cibernético que for empiricamente bem-sucedido acarreta uma explicação por articulação de partes, que é um modelo causal de como as partes do sistema real interagem para produzir o comportamento estudado.

Em outras palavras, um comportamento de um sistema biológico pode ter diversas causas suficientes e cada modelo cibernético que for feito para esse comportamento envolverá um subconjunto delas. A implicação dessa idéia é que, se apenas um modelo cibernético se revelar empiricamente bem-sucedido, as causas suficientes postuladas pelos outros modelos cibernéticos podem ser excluídas como causas do comportamento em questão (cf. Kauffman, 1998 [1970], p. 50; p. 56).

Por exemplo, dois biólogos funcionais, Fulano e Ciclano, podem estar interessados em explicar causalmente o processo de reagregação celular em poríferos. Uma descrição desse sistema envolveria especificações sobre o movimento das células na água, sobre quais tipos celulares se avizinham a quais outros, em que orientação, e quais deles foram o exterior e o interior da estrutura final (Kauffman, 1998 [1970], p. 46). A partir daí, o biólogo Fulano elege um processo ou conjunto *A* de processos (simbólicos),

²⁰ Kauffman (cf. 1998 [1970]) não nos dá indicações sobre quais os critérios de sucesso empírico para um modelo cibernético. Talvez um critério seja o isomorfismo em relação a um sistema causal real, mas Kauffman tampouco fornece diretrizes para avaliarmos se um modelo cibernético é isomórfico a um modelo causal.

²¹ A rigor, a literatura filosófica reservou os conceitos de necessidade e suficiência para se falar de *condições*, e não *causas*, mas como as causas aqui são hipotéticas, cremos que se justifica falar em “causas suficientes” para abreviar “causas próximas hipoteticamente suficientes”.

que são causas suficientes para produzir o estado de coisas descrito – esse é seu modelo cibernético. Ciclano faz a mesma coisa com um conjunto B de causas suficientes, gerando um outro modelo cibernético. Apenas um desses modelos será isomórfico a um modelo causal do sistema real e esse será empiricamente bem-sucedido, pois gerará uma explicação por articulação de partes do comportamento descrito.

Essas considerações nos sugerem que uma das motivações iniciais de Kauffman era a construção de um modelo cibernético (as redes booleanas) que fornecesse condições suficientes para descrever alguns comportamentos, como a diferenciação celular, próprios do domínio de estudo da biologia funcional. Essa visão transformaria outros conjuntos de causas suficientes classicamente estudados (no exemplo da diferenciação celular, a difusão de moléculas indutoras) em causas não pertinentes para a produção do comportamento. A seguir, apresentaremos tal modelo e, no fim deste capítulo, tentaremos argumentar que ele não se sustenta como uma proposta de causa suficiente para fenômenos da biologia evolutiva.

2.4 Redes booleanas aleatórias como um modelo cibernético para o genoma

A grande contribuição de Kauffman para a biologia funcional teórica foi a criação de um modelo cibernético para o “computador molecular” do genoma. Nesta seção, tentaremos reconstruir a descrição a partir da qual Kauffman formulou o modelo de redes booleanas aleatórias, explicitando algumas idealizações envolvidas.

A primeira característica do genoma a ser levada em conta é o *processamento paralelo*. Na célula, inúmeros eventos de transcrição, tradução e regulação acontecem simultaneamente. Por si só, essa característica torna o computador genômico impossível de ser descrito em termos de *processamento serial*, em que etapas discretas de processamento sucedem umas às outras no tempo. Assim sendo, a arquitetura mais adequada para o modelo cibernético do genoma é a de rede, na qual nenhum dos elementos tem prioridade temporal sobre outro: computações sobre todas as variáveis são processadas de maneira sincrônica.

A segunda exigência é que o modelo deve ser capaz de representar diferentes estados de atividade de cada gene. Se pudéssemos tirar “fotos” dos genes, isto é, “congelar” a célula em um determinado instante e sondar a atividade de diferentes genes, constataríamos que um gene pode, grosso modo, estar *ativo* ou *inativo*²². Nosso modelo

²² Essa é, evidentemente, uma simplificação: existem, na realidade, *taxas* de atividade, mas Kauffman

cibernético poderia, então, atribuir uma variável *binária* para cada gene, isto é, uma variável que possa assumir um dentre dois valores – por exemplo, 0 ou 1²³.

Em terceiro lugar, o modelo do *operon lac* nos fornece *insights* sobre como a atividade de um gene tem influência na atividade de um ou mais outros genes. Em genética, fenômenos desse tipo são agrupados sob o nome de *epistasia*:

[Epistasia é] [u]m efeito sinérgico, sobre o fenótipo ou sobre a adaptabilidade, de dois ou mais locos gênicos, pelo qual seu efeito conjugado difere da soma dos locos quando tomados separadamente. (Futuyma, 2003, p. 580)

Kauffman, entretanto, usa o termo “epistasia” para se referir a interações genéticas em geral (1993, p. 40; 1992a, p. 160). De certa maneira, a exigência de que nosso modelo seja epistático já está contemplada pela arquitetura de rede que escolhemos. As conexões entre os elementos determinam os caminhos de influência de atividade. Resta especificar um conjunto de regras para a regulação de atividade.

Por fim, Kauffman percebeu que o comportamento do *operon lac*, por exemplo, pode ser descrito por uma regra *booleana* (“não se”, tabela 2.1a, que corresponde à F_3 da tabela 2.1b). Regras (ou funções) booleanas são conectivos lógicos, como “se”, “e”, “ou”, “não”, que determinam o valor de verdade de uma fórmula molecular em função do valor de verdade de suas fórmulas atômicas. No caso do modelo cibernetico de que estamos falando, o comportamento de uma variável binária (o *output*) é computado em função de outras (os *inputs*), podendo ser descrito por tabelas como as *tabelas de verdade* da lógica (tabela 2.1b).

Tabela 2.1 (a) A lógica do *operon lac* (adaptado de Kauffman, 1995, p. 101); (b) os *outputs* de acordo com cada uma das 16 funções booleanas possíveis para 2 *inputs*. Ver texto para detalhes.

alo-lactose	repressor	Operador
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

Regra: “**não se**” (F_3)

A

apresenta (1993, p. 183-188) um detalhado argumento sobre porque elas podem ser desprezadas.

²³ A analogia clássica para esse tipo de variável é imaginar uma lâmpada que, quando assume o valor 1, está ligada; e quando é igual a 0, desligada.

Inputs		Outputs															
A	B	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₁₄	F ₁₅	F ₁₆
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

B

Todas essas funções podem ser definidas a partir de um conjunto inicial de conectivos lógicos, mas uma reprodução dessas definições foge aos propósitos de nosso estudo. O importante é perceber que esse conjunto de funções pode ser obtido por simples análise combinatória. Isso é uma primeira mostra da natureza *analítica* (quer dizer, despreocupada com as particularidades biológicas) da abordagem kauffmaniana, que detalharemos no capítulo 4.

De posse desta noção geral a respeito das características que Kauffman incorporou em sua formalização do genoma, passaremos agora a uma descrição do modelo propriamente dito. Apresentaremos também duas interpretações diferentes desse modelo, que propomos como uma classificação geral dos experimentos de Kauffman com redes booleanas aleatórias.

2.4.1 Definições

Redes booleanas aleatórias são modelos de simulação computacional para fenômenos que envolvam interações epistáticas entre os componentes de uma rede qualquer²⁴; redes genômicas regulatórias e redes metabólicas são exemplos do domínio biológico que podem ser estudados pelas redes booleanas. Para compreender como as redes booleanas podem acrescentar idéias inovadoras aos mecanismos conhecidos de ontogenia e filogenia, faz-se necessária uma apresentação terminológica inicial.

Uma rede booleana, descrita topologicamente, é composta de nós e arestas ou conexões entre os nós. As arestas têm um sentido, isto é, vão de um nó a outro, e podem ser visualizadas como setas (figura 2.1a). A rede pode ser caracterizada através de duas variáveis: o número N de nodos e o número K de conexões (arestas) que cada nodo recebe. Cada nodo assume, a cada intervalo discreto de tempo, um valor binário, computado de acordo com alguma regra booleana em função dos outros elementos aos quais estiver conectado. As regras booleanas e as conexões entre os nodos são escolhidas aleatoriamente. Existem 2^{2^K} regras (funções) booleanas, ou seja, para $K = 2$,

²⁴ Ver Kauffman, 1993, p. 387-402, e os capítulos finais de Kauffman 1995, para exemplos.

16 funções possíveis (tabela 2.1b).

Uma das redes booleanas mais simples, com $N = 3$ e $K = 2$, está representada na figura 2.2a. A partir da tabela (figura 2.2c), podemos perceber que, se fornecermos à rede um determinado conjunto de condições iniciais (por exemplo, $(A, B, C) = (0, 1, 0)$, $t = 0$), poderemos computar o *estado* seguinte $((A, B, C) = (0, 0, 1), t = 1)$ em função das tabelas de verdade de cada elemento. “Estado”, então, é uma configuração discreta da rede, em um determinado instante t . O conjunto de estados possíveis, para uma determinada rede, é seu *espaço de estados*, cujo tamanho é 2^N (Richardson, 1999, p. 469; Kauffman, 1993, p. 189). Portanto, o espaço de estados para a rede da figura 2.2a é o conjunto das oito configurações possíveis, representado na figura 2.2b.

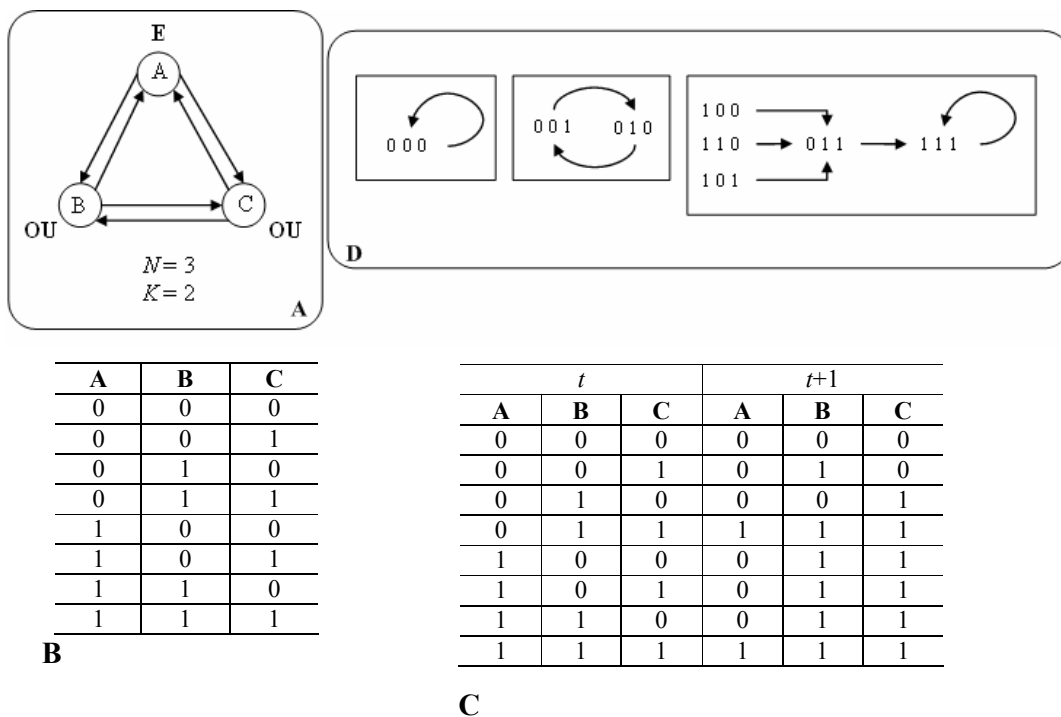


Figura 2.2. (a) Uma rede booleana com três elementos; (b) seu espaço de estados; (c) suas trajetórias, para valores adjacentes de t ; (d) seus atratores.

Um determinado “caminho” percorrido pela rede dentro do espaço de estados, em um conjunto Δt de intervalos, é uma *trajetória*. No exemplo que demos no parágrafo anterior, fizemos a trajetória $(0, 1, 0) \rightarrow (0, 0, 1)$ ²⁵. Alguns estados ou conjuntos de estados podem ser *atratores*, isto é, drenam para si diversas trajetórias. Nosso exemplo tem três atratores: $(0, 0, 0)$, $(1, 1, 1)$ e o ciclo-limite $(0, 1, 0) \leftrightarrow (0, 0, 1)$. Uma rede pode ter de 1 a 2^N atratores, ou seja, ter desde um atrator que drena todas as trajetórias, até ter

²⁵ A seta, aqui, não representa a implicação lógica, e sim a sucessão temporal de dois estados.

tantos atratores quanto estados possíveis.

Entretanto, Kauffman percebeu que o número de atratores tem uma relação com o *padrão organizacional*²⁶ da rede. Definiremos o padrão organizacional em relação à variável K : se cada elemento estiver recebendo a influência de outros dois elementos, o padrão organizacional é “ $K = 2$ ”. Kauffman vislumbra um *espaço* de padrões organizacionais possíveis, que podemos visualizar como uma espécie de *morfoespaço* para as redes booleanas. Veremos que, na interpretação filogenética das redes booleanas, Kauffman pretende determinar qual o padrão organizacional ideal para a ação da seleção natural. De forma simplificada, podemos dizer que o espaço organizacional de Kauffman tem apenas três tipos diferentes de padrões.

Redes com padrão organizacional $K < 2$ são “sólidas”, pouco responsivas a perturbações externas; o número de atratores neste padrão organizacional é aproximadamente $(\ln N)/e$. Um outro padrão organizacional vai de $K > 2$ até o limite $K = N$, no qual as redes são “gasosas”, caóticas, quer dizer, excessivamente sensíveis a perturbações, e apresentam N/e atratores. O terceiro padrão organizacional é $K = 2$, no qual a rede é “líquida” e se situa no que Kauffman chama de *limiar do caos*. No limiar do caos, as redes booleanas apresentam capacidade ótima de responder a perturbações: ou se regeneram, ou mudam radicalmente o padrão de valores assumidos pelos elementos (Kauffman, 1991). O número de atratores neste padrão organizacional é \sqrt{N} .

A relação entre padrão organizacional e número de atratores é importante para entendermos as interpretações do modelo redes booleanas em dois níveis: ontogenético e filogenético. Na interpretação ontogenética, as redes booleanas são entendidas como modelos de diferenciação celular. A interpretação filogenética envolve experimentos de construção de paisagens adaptativas para redes booleanas.

2.4.2 A interpretação ontogenética das redes booleanas

Se uma rede booleana for entendida como o genoma de um organismo individual, cada estado da rede pode ser entendido como um *padrão de atividade* da célula. Conforme comentamos na seção 2.4, uma “fotografia” da célula, como os experimentos com *microarrays* de DNA, revela um padrão em que algumas moléculas estão sendo expressas e outras não, isto é, alguns genes estão ativos e outros inativos: este é um padrão de atividade da célula.

²⁶ A expressão é nossa; Kauffman se refere a “regimes”.

A diferenciação celular é caracterizada como uma diferença em padrões de atividade, ou seja, diferença na atividade ou inatividade de determinados genes. Todas as células de um organismo compartilham o mesmo genoma, no entanto realizam funções notoriamente diferentes. Uma célula muscular difere de um neurônio por apresentar diferentes padrões de atividade predominantes. Evidentemente, um só padrão de atividade não configura por si só um tipo celular. Se assim fosse, para um genoma de 100.000 genes, teríamos $10^{30.000}$ tipos celulares.

A alternativa, segundo Kauffman, é que “um tipo celular corresponde a um atrator: engloba um ciclo de expressão razoavelmente estável” (1991, p. 69). O padrão organizacional em que parâmetros das redes booleanas correspondem com maior precisão a variáveis medidas em células reais é “ $K = 2$ ”. Nesse padrão, escreve Kauffman:

- O tamanho dos atratores corresponde a quão confinado a um tipo celular um determinado padrão de expressão está.
- O número de atratores corresponde ao número de tipos celulares em um organismo.
- A estabilidade dos atratores corresponde à estabilidade homeostática dos tipos celulares.
- O número de atratores acessíveis, por meio de perturbações nos estados de atividade de genes individuais, corresponde ao número de outros tipos celulares em que um tipo celular qualquer pode se diferenciar. Como este número é pequeno, comparado ao número total de tipos celulares, então a ontogenia deve ser, e é, organizada em torno de padrões bifurcantes de diferenciação.
- A sobreposição de padrões de atividade gênica em atratores corresponde a similaridades entre tipos celulares em um organismo.
- A alteração de atratores por mutações corresponde à evolução de novos tipos celulares. (Kauffman, 1993, p. 202)

Kauffman fez análises estatísticas em que comparou o número de tipos celulares esperados com o que efetivamente ocorre para diferentes organismos (Kauffman, 1991, p. 70; 1993, p. 462; 1995, p. 109). Como esses estudos foram feitos antes da conclusão do Projeto Genoma Humano, o número de genes dos humanos é escrito como cem mil, enquanto hoje se sabe que na verdade esse número é da ordem dos 25 mil (International Human Genome Sequencing Consortium, 2004). Esses dados certamente comprometem a credibilidade da correlação feita por Kauffman e provavelmente invalidam qualquer

corolário que se possa tirar da idéia de que o número de tipos celulares é simplesmente uma função do número de genes.

2.4.3 Redes booleanas e filogenia

Conforme já mencionamos, os experimentos que Kauffman elaborou para buscar relações entre padrões organizacionais e filogenia envolvem a modelagem computacional de paisagens adaptativas, uma idealização formulada pelo geneticista de populações Sewall Wright (1932). Uma *paisagem adaptativa* é uma entidade tridimensional, na qual os genótipos possíveis de uma população ocupam uma superfície, e a cada genótipo se pode atribuir um valor de aptidão que determinará sua “altura” na paisagem²⁷ (figura 2.3).

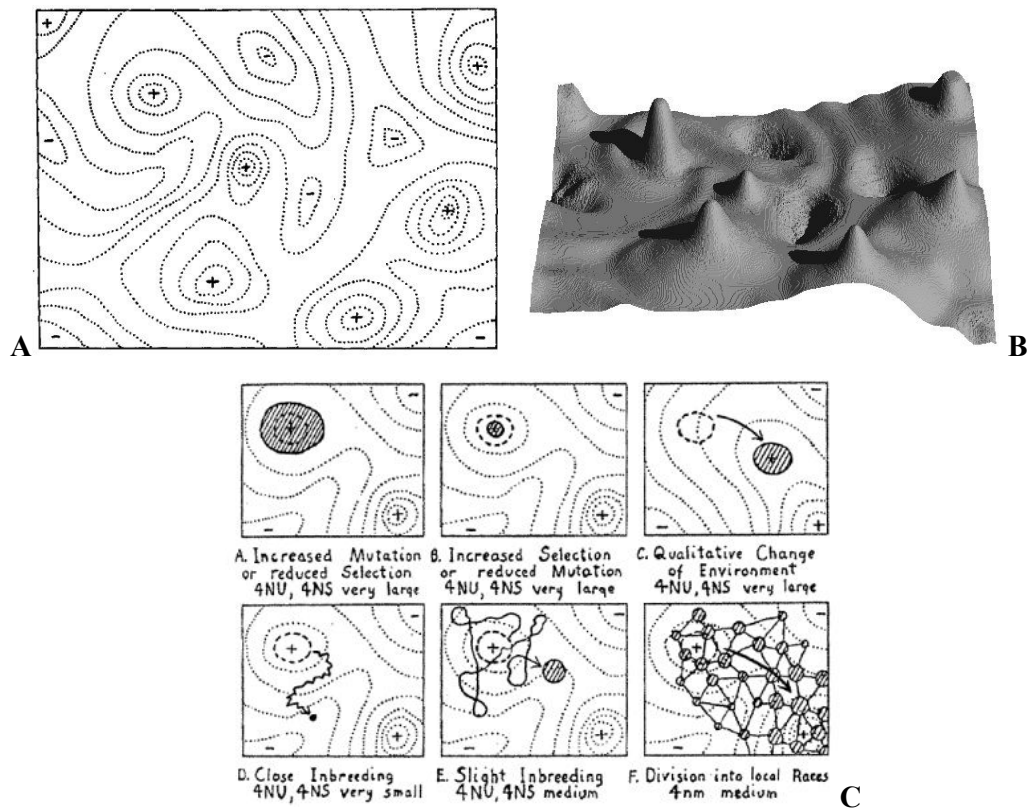


Figura 2.3 Paisagens adaptativas: (a) o desenho original de Wright; (b) uma representação tridimensional de (a); (c) alguns caminhos possíveis. ((a) e (c) reproduzidos de Wright, 1932).

Nos experimentos com redes booleanas em paisagens adaptativas, a rede booleana representa o conjunto de genótipos *de uma população* (não mais de um indivíduo, como

²⁷ Na verdade, a aptidão é uma função da frequência do genótipo na população, mas Kauffman adota a simplificação “um genótipo - um valor de aptidão” (Wright, 1932; Kauffman, 1993, p. 33)

era o caso dos outros experimentos)²⁸. Aqui, o fato de um gene estar ligado ou desligado significa a presença ou ausência daquele gene na população (Kauffman, 1992a, p. 160). A superfície da paisagem é o espaço de estados da rede, que corresponde ao conjunto de mutantes possíveis de um determinado genótipo. No modelo, a população, colocada em um estado inicial (um “genótipo” inicial), “caminha” pela paisagem por passos unitários (isto é, sofre uma mutação em *um* gene de cada vez), sempre escolhendo um mutante mais apto (Kauffman, 1992a, p. 155). Sem entrar em maiores detalhes sobre o modelo em si, podemos resumir as conclusões de Kauffman sobre os efeitos das coerções lógicas das redes booleanas nas paisagens adaptativas. Esses efeitos são visíveis no relevo das paisagens resultantes.

Kauffman chama de *correlacionada* a paisagem cujos valores de aptidão entre vizinhos são similares, e de *não-correlacionada* a paisagem em que os valores de aptidão de genótipos vizinhos não têm relação entre si (1992b, p. 156-7). Outro conceito importante é o de *optimum local*: um pico na paisagem, acessível a partir de genótipos vizinhos, correspondendo a um alto valor de aptidão (mas não o maior, que seria o *optimum global*). Deve-se ainda salientar que o modelo tem epistasia “regulável” [*tunable*], quer dizer, quanto mais alto o K , mais um gene depende de outros. Portanto, é conveniente apresentar as conclusões de Kauffman em termos dos padrões organizacionais que apresentamos anteriormente.

Em $K = 0$, as paisagens são completamente correlacionadas, isto é, a ausência de epistasia faz com que o genótipo mais apto seja aquele em que todos os genes estejam ativos (1, 1, 1, ... 1, 1, 1). A paisagem tem, então, um único pico que corresponde a esse genótipo – Kauffman chama esse tipo de paisagem de “suave” [*smooth*] (1993, p. 45). Uma população com uma alta taxa de mutação em uma paisagem desse tipo acaba se dispersando, ficando em regiões de menor aptidão, se a pressão seletiva não for forte o suficiente para manter a população no pico (Kauffman, 1995, p. 184).

Em $K = N$, a paisagem é completamente não-correlacionada, porque a epistasia é total (cada gene influencia na atividade de todos os outros). Quer dizer, vizinhos que difiram por uma só mutação, na prática, são totalmente diferentes, porque a mutação

²⁸ Na verdade, há certa ambigüidade sobre o que a rede booleana representa nesse modelo: Kauffman pode estar se referindo a um “genótipo global” da população, que sofre coletivamente as mesmas mutações, ou a um “fenótipo global” (na medida em que entendemos a presença de um gene como sua expressão fenotípica). Preferimos esta última interpretação.

sofrida mudou a configuração de todo o genótipo. Nesse tipo de paisagem, ocorre o que Kauffman chama de *catástrofe da complexidade*: nas paisagens adaptativas, quanto maior o N , menor a aptidão de *optima* locais atingíveis (Kauffman, 1992a, p. 163).

O contrário ocorre com valores pequenos de K , a aptidão de *optima* locais aumenta. Kauffman escreve: “uma pequena quantidade de interação epistática na verdade *ajuda a criar uma paisagem com optima de maior aptidão*” (Kauffman, 1992a, p. 165; grifo no original). As paisagens adaptativas, nesse padrão organizacional, são *rugosas*, possuindo muitos *optima* locais e “[c]omo os Alpes, nossa paisagem aqui possui uma espécie de Massif Central [...] do espaço genotípico onde todos os bons *optima* estão localizados” (Kauffman, 1993, p. 60-62).

A principal implicação filogenética do modelo de redes booleanas em paisagens adaptativas é de que paisagens “boas” estão constrangidas entre o Cila da catástrofe de complexidade e o Caribdes da “suavidade”. Jean Gayon aponta que conclusões semelhantes foram obtidas por Fisher e Wright nas décadas de 20 e 30 (Gayon, 1997). Os dois geneticistas estabeleceram os limites que a estrutura da população impõe à capacidade da seleção em controlar a evolução de uma população mendeliana. “O programa de Kauffman”, escreve Gayon, “é comparável [com o de Fisher e Wright] em certo sentido: ao invés de procurar por limites impostos pela estrutura da população, ele os procura na estrutura do genoma” (1997, p. 280). Paisagens no “limiar do caos” são, ao mesmo tempo, *condição de possibilidade* para, e *produto* da, ação da seleção natural (Kauffman, 1995, p. 185). “Em outras palavras, a seleção é capaz de evoluir a própria adaptabilidade” (Gayon, 1997, p. 281). Essa é a *hipótese ousada* de Kauffman, assunto do restante deste capítulo.

2.5 A auto-organização em Kauffman

Stephen Jay Gould aponta que duas expressões epitomizam o entendimento de Kauffman sobre a modelagem física da evolução de formas adaptativas: “ordem gratuita” e “adaptação às margens do caos” (Kauffman, 1993, p. 409 e p. 645; Gould, 2002, p. 1210). Essas expressões são recorrentes na obra de Kauffman, e pode-se perceber que elas dão aporte a dois conceitos diferentes de “auto-organização”.

Nas seções seguintes, detalharemos esse ponto, enfatizando que a auto-organização, entendida como “ordem gratuita”, encontra paralelos em outros autores. Por outro lado, cremos que a grande novidade apresentada por Kauffman é o segundo conceito, ou seja,

auto-organização como adaptabilidade. Kauffman pretende mostrar que os fenômenos adaptativos ocorrem em sistemas situados “às margens do caos”, e que, ao mesmo tempo, a seleção natural *empurra* os sistemas complexos em direção a essa região (Kauffman, 1993, p. 409).

2.5.1 Auto-organização como “ordem gratuita”

Um primeiro conceito a ser esclarecido é o de auto-organização como *ordem gratuita*, quer dizer, o modo pelo qual as próprias leis físico-químicas se encarregam de grande parte da ordem vislumbrada no mundo biológico. Esse tema está vinculado, conforme salientam vários autores (Maynard Smith, 1998; Camazine et al., 2003), às fontes de informação para que se tenha organização: se a ordem depende de informação contida em moldes ou instruções, não pode ser chamada de *auto-organização*. Para ser dita auto-organização, a ordem deve resultar de interações entre os componentes do sistema, reguladas física ou biologicamente. Para citar um exemplo risível, uma semente não precisa de um gene ou qualquer outra fonte de informação que a diga para cair ao chão; a gravidade é suficiente. Como salienta Maynard Smith, “[o]s genes não precisam codificar as leis da física” (1998, p. 25). E, segundo Gould:

[Ordem gratuita é] uma expressão muito boa, porque para um darwinista estrito toda a ordem racional [*sic*] tem que proceder da seleção natural. E isso não é certo. (Gould, entrevistado em Brockman, 1996, p. 322)

No entanto, é importante perceber que Kauffman associa a expressão “ordem gratuita” a temas sobre a origem da vida. E, embora esse ponto passe despercebido para os críticos criacionistas do darwinismo (cf. Behe, 1997), o tema da origem da vida se torna irrelevante para discussões sobre a adaptação, uma vez que a seleção natural *pressupõe* a existência de formas vivas competindo entre si por recursos escassos. Tentaremos focar a seguir, então, em que sentido a auto-organização poderia moldar o processo de evolução.

2.5.2 Auto-organização como adaptabilidade: a “hipótese ousada”

Vimos na seção 2.4.3 que a adaptação, para Kauffman, ocorre idealmente em sistemas cujo padrão organizacional é $K = 2$, o “limiar do caos”. Segundo Gould:

Com sua segunda expressão, Kaufman enfatiza a evolvabilidade ao invés da forma ou organização *per se* em argumentar que os sistemas biológicos naturalmente evoluem para “adaptação às margens do caos”. [...] Kauffman continuamente sublinha a natureza

abstrata, geral e atemporal desses aspectos da ordem biológica que ele atribuiria à “natureza das coisas”, ao invés de a qualquer mecanismo distintivamente biológico como a seleção natural (que pode então atuar sobre as propriedades inerentes e genéricas para construir utilidades mais específicas em ambientes particulares). (Gould, 2002, p. 1210)

De acordo com o que se apresenta até agora, a auto-organização parece ser responsável por uma espécie de *ordem primária* dos organismos, sob a qual a seleção natural atua, gerando uma *ordem secundária*, efetivamente observada (figura 2.5a). Enquanto essa sentença não deixa de ser válida, Kauffman vai mais longe: afirma que a auto-organização é necessária para a ação da seleção natural. Eis o segundo sentido de auto-organização: *adaptabilidade*. Redes no limiar do caos são mais responsivas à seleção natural e, ao mesmo tempo, outros experimentos realizados por Kauffman parecem indicar que a seleção natural alcança estruturas que estejam no limiar do caos (figura 2.5b) (Kauffman, 1997; 1993, p. 409; 1995, p. 185).

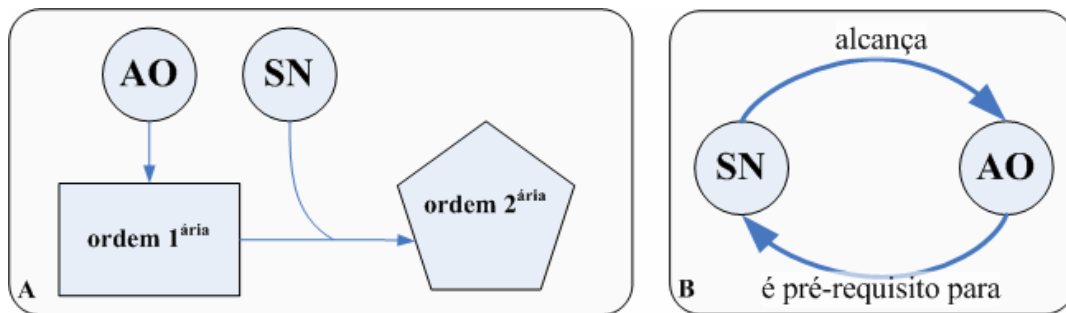


Figura 2.5 (a) Uma primeira aproximação à relação entre seleção natural e auto-organização em Kauffman: auto-organização como ordem gratuita; (b) a hipótese ousada: auto-organização como adaptabilidade. (AO = auto-organização; SN = seleção natural)

Por essa razão, Dennett chamou Kauffman de “meta-engenheiro”. Meta-engenharia é, segundo Dennett, “a investigação das restrições mais gerais aos processos que podem levar à criação e à reprodução de coisas projetadas” (Dennett, 1998, p. 236). Para colocar as conclusões de Kauffman nas palavras de Dennett, então, sistemas nos estados sólido ou gasoso estão fora das possibilidades de se tornarem coisas projetadas, estão fora do “espaço de projeto”.

Levando em consideração os dois aspectos da auto-organização (ordem gratuita e adaptabilidade), Sterelny e Griffiths (1999, p. 372-373) afirmam que a auto-organização é, ao mesmo tempo, uma coerção e um impulso sobre a seleção. Impulso pois, enquanto ordem gratuita, a auto-organização fornece à seleção natural um *input* mais “rico” do

que aquele classicamente esperado. Coerção porque, entendida como adaptabilidade, a auto-organização disponibiliza um número relativamente limitado de sistemas sobre os quais a seleção natural pode atuar. Nas palavras do próprio Kauffman:

[...] sistemas complexos de muitos tipos exibem um alto grau de ordem espontânea. Isso implica que tal ordem está disponível para a evolução e as forças seletivas para modelagem posterior. Mas também implica, bastante profundamente, que a ordem espontânea em tais sistemas pode permitir, guiar e *limitar* a seleção. (Kauffman, 1992a, p. 153; grifo no original)

Talvez a descoberta desses limites da ação da seleção natural não seja tão impactante quanto quer Kauffman (em breve retornaremos a esse ponto); por isso, preferimos ficar com formulações mais conciliatórias da hipótese ousada:

Sistemas colocados no estado de transição líquido também podem ter especial relevância para a evolução porque eles parecem ter a capacidade ótima de evoluir. (Kauffman, 1991, p. 68)

Sistemas de processamento paralelo existindo na região de interface entre ordem e caos podem ser os mais aptos a se adaptar e evoluir. Além disso, a seleção natural pode ser a força que empurra sistemas adaptativos complexos em direção a essa região fronteira. (Kauffman, 1993, p. 218)

A evolução é certamente “o acaso pego em pleno vôo”, mas também é expressão de ordem subjacente. (Kauffman, 1995, p. 189)

A hipótese ousada de Kauffman é a noção de que a auto-organização é um pré-requisito para a ação da seleção natural e, ao mesmo tempo, a seleção natural mantém as condições ótimas de auto-organização (o “limiar do caos”). O fato de a seleção natural ser a própria força que empurra e mantém os sistemas às margens do caos é contra-intuitiva. Afinal, isso quer dizer que a adaptabilidade, ou seja, a propriedade de um sistema estar no limiar do caos, é ela própria uma característica selecionada. Em termos kauffmanianos, dadas formas sub-ótimas de auto-organização ($K = 1$ e $K = 5$), a seleção natural seria capaz de otimizá-las, empurrando-as em direção ao limiar do caos ($K = 2$) (v. experimento resumido em Kauffman, 1991, p. 69). Suspeitamos que a resposta esteja no fato de que esse fenômeno, se examinado minuciosamente, pode não configurar de fato um processo de seleção natural. Talvez seja um caso de exclusão competitiva²⁹, ou

²⁹ Isso aconteceria se o surgimento de redes $K=2$ em uma população de redes com outros padrões

talvez alguma propriedade da dinâmica de ocupação de picos adaptativos favoreça as redes no limiar do caos. Entre as razões que nos levam a pensar desta maneira está a constatação de que a seleção natural classicamente gera diversificação adaptativa, enquanto o que observamos no modelo de Kauffman é um afunilamento da diversidade. Quer dizer, de muitos padrões organizacionais existentes no início do experimento, ao final resta apenas $K = 2$.

Mas como entender o limiar do caos, a adaptabilidade, em termos estritamente biológicos? Robert Richardson sugere que “[o] ‘limiar do caos’ é simplesmente a região em que há variação herdável” (2001, p. 678). Essa interpretação é coerente com os resultados de Kauffman com paisagens adaptativas (seção 2.4.3): em paisagens não-correlacionadas, mutações favoráveis se dispersam em pouquíssimas gerações; em paisagens perfeitamente correlacionadas, as populações ficam presas em um único pico adaptativo e se tornam vulneráveis se, por alguma razão ambiental, aquele pico se tornar um vale. Ademais, as paisagens perfeitamente correlacionadas permitem pouca variação, de modo que as mutações fazem pouca diferença para o *fitness*.

Consideramos difícil de sustentar que a própria adaptabilidade, entendida como a condição ótima de hereditariedade, seja objeto de seleção. Essa “segunda metade” da hipótese ousada parece gerar uma circularidade viciosa. Concordamos, então, com Richardson em que:

A segunda conjectura ousada de Kauffman – de que a seleção favorece sistemas colocados às margens do caos e assim maximiza a evolvibilidade [adaptabilidade, nos nossos termos] – é de fato bastante ousada, mas deve ser recebida com educado ceticismo. (Richardson, 2001, p. 680)

2.6 A tese da auto-organização e a visão aceita

Diante desse quadro, podemos agora examinar com maior propriedade qual a relação entre a tese da auto-organização e a visão aceita. Temos, de acordo com Weber e Depew, as seguintes alternativas de interpretação:

1. A seleção natural, e não a auto-organização, direciona a evolução.
2. A auto-organização restringe [*constrains*] a seleção natural.

organizacionais inviabilizasse o estabelecimento de diferenças de sucesso reprodutivo entre as redes $K \neq 2$.

3. A auto-organização é a hipótese nula contra a qual a mudança evolutiva deve ser medida.
4. A auto-organização é um auxiliar à seleção natural em causar a mudança evolutiva.
5. A auto-organização direciona a evolução, mas é constringida pela seleção natural.
6. A seleção natural é, ela própria, uma forma de auto-organização.
7. A seleção natural e a auto-organização são dois aspectos de um único processo evolutivo. (Weber e Depew, 1996 *apud* Richardson, 2001, p. 669)

Dizer, como na hipótese 1, que a seleção natural direciona a evolução é errado até mesmo na visão aceita: a seleção só direciona a evolução quando nenhuma outra força evolutiva a neutraliza (cf. Sober, 1984, p. 151). Mesmo assim, concordamos que a auto-organização, por si só, é incapaz de direcionar a evolução. Os experimentos de Kauffman não explicam as particularidades das ocorrências de determinadas adaptações, apenas estabelecem as bases sobre as quais o fenômeno adaptativo é possível. Não há detalhamento, em Kauffman, a respeito de quais as conseqüências morfológicas ou, para usar um termo mais geral, conseqüências fenotípicas da auto-organização³⁰.

Essa constatação elimina também as hipóteses 2, 3, 4, e 5, que pressupõem, na nossa opinião, que auto-organização e seleção natural estão em um mesmo nível causal. Para que a auto-organização constrinja (2), seja comparada com (3), auxilie (4), ou seja constringida pela (5) seleção natural, as duas têm de poder estar em um mesmo nível da cadeia causal. Mas, se a auto-organização não pode, por si própria, ser a causa da adaptação, pelo menos no nível morfológico, então nos parece claro que auto-organização e seleção natural estão em níveis diferentes.

Convém comentar a idéia de que a auto-organização é a hipótese nula contra a qual a mudança evolutiva deve ser medida. Acreditamos que o equilíbrio de Hardy-Weinberg, e não a auto-organização, seja a hipótese nula, ou o estado de força zero (Sober, 1984), ou ainda o *ideal de ordem natural* (cf. Toulmin, 1961; Caponi, 2004a) da biologia evolutiva. Se, como no neodarwinismo, a mudança evolutiva for medida em termos de mudanças nas freqüências de determinados alelos, a propriedade de auto-organização

³⁰ Exceto no sentido de que falamos na seção 2.4.3, ou seja, de que o fenótipo é resultado da interação epistática entre genes regidos por regras booleanas. No capítulo 4, voltaremos a falar da ausência, em Kauffman, de preocupações por particularidades morfológicas.

não é capaz de substituir a lei de Hardy-Weinberg. O cientista preocupado em definições heurísticamente claras, como a lei de Hardy-Weinberg, não vai encontrar equivalentes na obra de Kauffman.

A hipótese de que auto-organização e seleção natural sejam dois aspectos de um único processo evolutivo nos parece razoável. Certamente, mudanças herdáveis e seleção natural são dois ingredientes do processo evolutivo: o próprio Darwin cunhou as expressões “descendência com modificação” e “luta pela existência” para se referir a eles. Conceber as condições que tornam possível a herança da variação (auto-organização no limiar do caos) como *limites* à ação da seleção natural é, em nosso entendimento, um artefato da abordagem analítica que Kauffman utiliza. Kauffman *pressupõe* que a ação da seleção natural é possível mesmo quando não há hereditariedade da variação, para então dizer que a condição de que a variação seja herdável estabelece um limite à ação da seleção natural. Mas esse limite foi percebido com certa clareza por Darwin e se tornou ainda mais explícito com Weissman. Isso não quer dizer que a obra de Kauffman seja trivial, apenas que é menos impactante do que ele quer fazê-la parecer.

Resta-nos discutir a última hipótese interpretativa de Weber e Depew, a idéia de que a seleção natural é, ela própria, uma forma de auto-organização. Na interpretação que estamos defendendo, isso equivaleria a dizer “a seleção natural é uma forma de condição de hereditariedade da variação”, o que, a nosso ver, não faz muito sentido. Mesmo se distorcêssemos um pouco essa afirmativa, dizendo “a seleção natural é uma forma de variação herdável”, estaríamos fazendo uma mistura de categorias. A seleção natural é um *mecanismo* evolutivo³¹ e a auto-organização é uma *propriedade* de sistemas que podem estar sujeitos a forças evolutivas.

Gostaríamos de sugerir, para a interpretação da obra de Kauffman, nossa própria alternativa: *a auto-organização, entendida como adaptabilidade, é uma condição de possibilidade da ação da seleção natural*. Essa interpretação, a nosso ver, faz jus às idéias de Kauffman sem trivializá-las nem enaltecê-las. Além disso, ela nos permite ver que a tese da auto-organização não consegue competir pelo papel causal da seleção natural na produção de adaptações. Pode ser que, sem auto-organização, não ocorra seleção natural, mas isso não quer dizer que a auto-organização seja a causa das adaptações. Se o objetivo de Kauffman fosse mostrar que esse é o caso, ele teria de

³¹ E, no sentido estrito, a pressão seletiva é uma *força* evolutiva.

proponer um *mecanismo*, e não simplesmente uma *propriedade*, que desse conta de produzir as adaptações particulares que conhecemos. Neste capítulo, cremos ter fornecido razões suficientes para sustentar nossa interpretação. De qualquer maneira, no capítulo 4 será apresentada uma outra linha de argumentação que converge na defesa dessas idéias.

3 A TESE DA CONTINGÊNCIA

3.1 Apresentação

Em uma história de ficção científica humorística, o escritor polonês Stanislaw Lem imagina um viajante terráqueo que vai parar em um Andrygonia, um planeta habitado por seres inteligentes. Chega o dia de uma espécie de vestibular nas escolas andrygonianas e um dos examinadores pergunta a um candidato: “o senhor poderia demonstrar por que a vida na Terra é impossível?”. O jovem andrygoniano então apresenta um brilhante argumento, cuidadosamente articulado, em que prova que a maior parte da Terra está coberta de águas frias e excessivamente profundas, que mesmo as zonas temperadas são cobertas todos os anos por vapor de água congelado conhecido como “neve”, que a grande Lua da Terra causa os altos e baixos das marés, com um efeito destrutivo, erosivo, que na atmosfera abundam os ciclones e furacões, e que, mesmo se seres sapientes vindos de outro planeta tentassem aterrissar na Terra, seriam esmagados pela incrível pressão atmosférica de 760 milímetros de mercúrio, ao nível do mar. Apesar dos protestos do viajante terráqueo, de que a Terra é habitada, e de que ele é um exemplo vivo disso, o examinador retruca: “se a Terra fosse de fato habitada, isso constituiria uma anomalia da natureza”.

Bem, a vida na Terra não é impossível, mas se nossos colegas Andrygonianos tivessem examinado a *história* da vida na Terra, talvez teriam se surpreendido ainda mais. A tese da contingência é uma espécie de aplicação dessa fábula à biologia evolutiva. Neste capítulo, tentaremos mostrar que a tese da contingência, na medida em que diz respeito à *imprevisibilidade* do fenômeno evolutivo, é uma tese epistemológica. Nesse sentido, busca afrontar o *extrapolacionismo* que, para Gould, é uma posição que confere certa previsibilidade aos resultados evolutivos. Antes de caracterizarmos o extrapolacionismo (seção 3.4), falaremos um pouco de como a tese da contingência se relaciona com o tema das leis em biologia (seção 3.3.1), e como a propriedade de *resiliência contrafactual* (seção 3.3.2) nos permite entender melhor a natureza dos

eventos contingentes.

Analisando o *modelo de regras diferentes* (seção 3.5), não podemos dizer que Gould negue que o processo evolutivo obedeça a alguma forma de *algoritmo* regular. Conforme veremos, Dennett está errado em afirmar o contrário (seção 3.6); porém, acreditamos que a correção que Sterelny e Griffiths fazem sobre o modelo de regras diferentes seja pertinente.

3.2 A contingência na evolução

O passatempo de elaborar histórias contrafatuais é pelo menos tão antigo quanto o seguinte adágio, registrado pela primeira vez no século 17:

*Por falta do prego, perdeu-se a ferradura
Por falta da ferradura, perdeu-se o cavalo
Por falta do cavalo, perdeu-se o cavaleiro
Por falta do cavaleiro, perdeu-se a batalha
Por falta da batalha, perdeu-se o reino*

Em biologia evolutiva, entretanto, Gould foi inovador ao unir considerações clássicas sobre histórias contrafatuais à defesa de uma metodologia histórica para a paleobiologia. Gould (1986) nos convida a fazer um *Gedankenexperiment* em que rebobinamos a fita da história da vida na Terra e a tocamos novamente. Podemos imaginar dois resultados possíveis para o experimento: ou a reprise é bastante parecida com a história original (levando-nos a acreditar que a história original era, em algum sentido, *necessária*), ou é notoriamente diferente (levando-nos a crer que a história da vida é caótica e não faz muito sentido). Mas Gould argumenta que, se o experimento fosse possível, obteríamos o segundo resultado, embora não devêssemos concluir daí que a história da vida não faz sentido (Gould, 1986).

Como a enormidade de caminhos possíveis advém, segundo Gould, da própria natureza da história, para que a história da vida faça sentido, temos de utilizar, além da análise propriamente biológica, a metodologia das ciências históricas. Se o curso da história depende de resultados de eventos contingentes, e pode ser entendido por meio de recursos explicativos que enfocam essa dependência causal, a história *da vida* não é exceção, e a paleobiologia deve mostrar como os *resultados evolutivos* são foz de tortuosos leitos contingentes.

Um evento como a extinção dos dinossauros não poderia ter sido *predito*, nos diz Gould, apelando somente a uma lógica do processo evolutivo (como a visão aceita), porque a queda de um meteoro é um acontecimento externo a ela. Gould conclui daí que

não se poderia *explicar* adequadamente a extinção dos dinossauros sem reconhecer a natureza contingente do evento e salientar suas particularidades históricas³².

Na introdução, falamos dos aspectos nomotético e idiográfico da biologia. Gould pretende apresentar a paleobiologia como uma ciência idiográfica, preocupada em estabelecer as particularidades históricas de seu objeto de estudo. A maioria dos fenômenos da história da vida não aconteceram, segundo ele, como conseqüências necessárias (e, portanto, previsíveis) de leis naturais (Gould, 2001). A diferença é ilustrada por Gould:

Os fenômenos nomotéticos possuem a grande virtude da previsibilidade. Podemos ter razoável certeza sobre as propriedades do quartzo do Cambriano antes de encontrá-lo, ou mesmo de um arco-íris do Jurássico (que em princípio não pode ser visto), porque esses fenômenos relativamente simples surgem repetidamente sob as leis da física e da química e não têm qualquer unicidade [*uniqueness*] histórica. (Gould, 2001, p. 196)

A imprevisibilidade é uma propriedade do objeto de estudo das ciências idiográficas em dois sentidos aparentemente intratáveis pelos critérios básicos do “método científico”: (1) imprevisibilidade *epistemológica*, isto é, devida às limitações do conhecimento humano; e (2) imprevisibilidade *ontológica*, ou em princípio, não apenas devida à limitação do conhecimento humano atingível, mas entendida como uma propriedade de eventos que ocorrem *probabilisticamente* (e não com a certeza de uma lei natural) a partir de determinadas condições iniciais e, portanto, podem ser apenas *explicados* após sua ocorrência (Gould, 2001).

Esses dois sentidos de contingência podem ter sido apontados a Gould por Oyama (1995), que os utiliza para sugerir que o desenvolvimento seja visto como não-contingente epistemologicamente, mas contingente ontologicamente. Cremos que a distinção levantada por Oyama, embora útil para seu argumento sobre a natureza contingente do desenvolvimento, não apresenta relevância para a análise da tese da contingência de Gould. Afinal, estamos certos de que, para a tese da contingência, não importa se os fenômenos da história da vida são epistemológica ou ontologicamente imprevisíveis (ou ambos). Descobrir se o mundo é ontologicamente contingente em um sentido forte envolve, na nossa concepção, determinar se há indeterminismo no mundo quântico e se ele “percola” para níveis superiores; é uma tarefa da física quântica e que

³² Embora a chamada *simetria* entre explicação e predição científicas seja problemática: discutiremos esse ponto no capítulo 4.

está muito além dos limites da paleontologia.

Por essas razões, Gould defende a autonomia da explicação paleobiológica em relação às leis físicas e químicas, o que se pode evidenciar em seu comentário sobre o livro *O que é vida?* de Schrödinger. A questão-título de Schrödinger diz respeito a como se poderia fazer uma explicação física e química dos acontecimentos espaço-temporais que ocorrem dentro de um ser vivo. Gould responde:

Não haverá mais, muitíssimo mais, que qualquer conceito coerente razoável [*sic*] dessa questão [“o que é vida?”] precise incluir? De um ponto de vista parcial como paleontólogo, devo rejeitar a limitada formulação de Schrödinger, pois sua aceitação torna minha área irrelevante ou, na melhor das hipóteses, totalmente secundária. Se o conhecimento da natureza física do material hereditário responde à pergunta “o que é vida”, então por que minha especialidade tenta arduamente delinear a história filética na grande escala de tempo de bilhões de anos? (Gould, 1997, p. 41)

Um dos sobretons da tese da contingência é a defesa da paleobiologia como uma ciência “boa” e “séria”. O argumento é que historiadores profissionais lidam rotineiramente com eventos contingentes, conseqüências de cadeias causais nas quais cada elo não é o resultado necessário (pelas leis naturais) do anterior, e desenvolveram uma metodologia específica – a narrativa – para tratá-lo. O problema, segundo Gould, é que o estilo idiográfico seria, por razões históricas da própria sociedade ocidental, considerado “menos científico” que o nomotético. Entretanto, Gould recomenda que abandonemos nossos preconceitos ao estudar a história da vida, porque os métodos idiográficos são não somente apropriados, mas também necessários para sua explicação rigorosa (Gould, 2001).

3.3 A natureza dos eventos contingentes

A imprevisibilidade da qual falamos na seção anterior é uma das características dos eventos contingentes, mas é insuficiente para caracterizá-los satisfatoriamente nos termos de Gould. Examinaremos nesta seção duas outras propriedades, a complexidade histórica e a resiliência contrafactual, que podem, de alguma forma, complementar a compreensão da tese da contingência.

3.3.1 *Largos canais, estreitos detalhes*

O documento mais explícito que temos a respeito do posicionamento de Gould sobre a impraticabilidade da busca por leis em biologia é um artigo de 1970 sobre a lei de

Dollo, analisado por Lee McIntyre (1997). A lei de Dollo diz que “os grupos em evolução não tornam a percorrer [no sentido inverso] os estágios de seu desenvolvimento evolucionário, a fim de regressar a um estado anterior” (Hull, 1975, p. 117). Quer dizer, a lei de Dollo é a afirmação de que a evolução é, em algum sentido, irreversível. McIntyre (cf. 1997, p. 358) salienta que essa lei – à semelhança das leis de Cope, Williston e Dacqué – é uma generalização referente a um padrão do desenvolvimento filogenético. Ele as chama de *históricas*³³ para diferenciá-las (embora Gould não o faça) de leis *de processo*, como algumas leis da física.

Em sua análise da lei de Dollo, Gould argumenta que ela não somente não tem um estatuto legaliforme (isto é, não é uma lei científica, estritamente falando), como também essa constatação implica que devemos rejeitar a abordagem nomológica em biologia (cf. McIntyre 1997, p. 358). McIntyre, por sua vez, tenta mostrar que o argumento de Gould não se sustenta, mas, para entender esse ponto, é preciso falar um pouco sobre como a rejeição gouldiana da lei de Dollo se relaciona com sua tese da contingência.

Enunciada de outro modo, a lei de Dollo diz respeito à irreversibilidade de estruturas evolutivas complexas:

De forma simplificada, Dollo afirma que, devido à complexidade do diálogo entre o ambiente e um organismo [diríamos, ao invés disso: “e uma população”] durante a evolução de uma seqüência filogenética, é assombrosamente improvável que estruturas ancestrais sejam perfeitamente recuperáveis; formas convergentes secundárias serão sempre morfológicamente (estruturalmente) distinguíveis pela preservação de algum traço de um estágio intermediário. (McIntyre, 1997, p. 359)

Hull, por sua vez, apresenta uma interpretação genômica da lei:

Dada a natureza da mudança genética e a retenção dessas mudanças no genoma, é praticamente nula a possibilidade de que essas mudanças sejam totalmente apagadas e o genoma retorne exatamente a um estado ancestral. (Hull, 1975, p. 118)

Para Gould, a noção subjacente à impossibilidade estatística da reversão a uma forma ancestral é a *complexidade*, embora o termo não seja definido com clareza por Dollo, tampouco por Gould. Dollo é acusado de ter tornado sua lei infalsificável em termos popperianos, dado que, sempre que algum suposto contra-exemplo lhe fosse

³³ O conceito de lei histórica é um pouco diferente em Hull (cf. 1975, p. 119).

apresentado, ele mostrava ou que a reversão havia acontecido de forma incompleta, ou que a estrutura escolhida não era complexa o suficiente para satisfazer as condições de cumprimento de sua lei (cf. McIntyre, 1997, p. 362).

Gould quer, entretanto, salvar a noção de irreversibilidade evolutiva, ainda que para isso seja necessário despi-la do caráter nomológico com que Dollo a formulara inicialmente. Segundo Gould, o princípio de irreversibilidade deve ser preservado porque reflete o caráter único de todos os fenômenos históricos, uma vez que leva em consideração a improbabilidade de dois eventos históricos ocorrerem duas vezes exatamente da mesma maneira (cf. McIntyre, 1997, p. 362). Se os objetos de estudo da paleobiologia são historicamente únicos, então não podemos formular leis temporalmente irrestritas que digam respeito a eles.

Gould concedeu que seu apelo à unicidade e à historicidade se reduz a uma afirmativa de que os fenômenos biológicos, no nível em que desejamos que sejam explicados, são muito *complexos* para que formulemos leis a respeito deles (cf. McIntyre, 1997, p. 365). Podemos, certamente, ter explicações sobre os fenômenos biológicos em níveis mais gerais, mas essas explicações não farão justiça ao que há de biologicamente interessante nesses fenômenos:

Um último problema acerca da disputa entre a previsibilidade e a contingência: estaria eu realmente argumentando que nada a respeito da história da vida pode ser previsto ou, talvez, ser consequência inevitável e direta das leis gerais da natureza? É óbvio que não; *a questão com que nos defrontamos é de escala, ou de focalização*. A vida apresenta uma estrutura que obedece aos princípios da física. [...] As leis de superfícies e volumes [...] exigem que os organismos grandes desenvolvam formas diferentes daquelas encontradas em seres aparentados de menor porte, a fim de manter a mesma área superficial relativa. Do mesmo modo, pode-se esperar encontrar simetria bilateral em organismos móveis construídos por divisão celular. [...] Todavia, por mais amplos e importantes que sejam esses fenômenos, eles estão muito longe dos detalhes que nos interessam acerca da história da vida. As leis invariáveis da natureza afetam as formas e as funções gerais dos organismos; elas estabelecem os canais em cujos limites deve-se dar a evolução dos *designs* orgânicos. Mas os canais são tão largos em relação aos detalhes que nos fascinam! (Gould, 1990, p. 337; grifo nosso)

Posteriormente, em uma passagem bastante semelhante, Gould parece reconhecer que existem algumas “leis” (ou pelo menos “tendências”) distintamente biológicas:

A trajetória da vida certamente inclui muitas características previsíveis com base nas leis

da Natureza, mas esses aspectos são muito amplos e gerais para fornecer a “justiça” que buscamos a fim de validar os resultados particulares da evolução – rosas, cogumelos, pessoas e assim por diante. [...] *Leis ecológicas previsíveis* governam a estruturação das comunidades por princípios de fluxo de energia e termodinâmica [...]. As *tendências evolutivas*, uma vez iniciadas, *podem ter previsibilidade local* [...]. Mas as leis da Natureza não nos contam por que existem caranguejos e caramujos, por que os insetos dominam o mundo multicelular e por que os vertebrados, e não as persistentes algas, existem como a forma de vida mais complexa da Terra. (Gould, 1994b, p. 64; grifo nosso)

Nas últimas três seções desse capítulo, abordaremos a importância dessa “previsibilidade limitada” em evitar que a tese da contingência seja entendida como a afirmativa de que não existe uma “lógica interna” do processo evolutivo. As “leis da Natureza” não podem nos explicar por que existem caranguejos e caramujos, segundo Gould, porque não podemos formular leis que mostrem que caranguejos e caramujos *tenham de* existir. Em outros termos, não há *necessidade nômica* (v. capítulo 4) na existência de caranguejos e caramujos. Não que esses animais sejam muito complexos em si para serem descritos por leis naturais, mas, acreditamos que Gould assim o interpretaria, porque sua *história* é muito complexa. Há uma noção central para entender a tese da contingência, bem como o conceito de *complexidade histórica* que estamos construindo aqui: a *causa histórica* de G. G. Simpson:

As leis físicas ou mecânicas dependem da existência de um *conjunto imediato de condições*, usualmente em combinações bastante simples, que podem ser repetidas à vontade e são *adequadas em si mesmas* para determinar uma resposta ou resultado. Em qualquer processo verdadeiramente histórico, as condições determinantes estão longe de ser [*sic*] simples e não são imediatas ou repetitivas. A *causa histórica* abrange a *totalidade* [grifo no original] dos eventos precedentes. Essa causa nunca pode ser repetida e muda de instante a instante. *A repetição de alguns fatores não seria ainda uma repetição de causalidade histórica*. O mero fato de condições semelhantes terem ocorrido duas vezes e não uma só vez fará uma diferença essencial e os materiais e reagentes (como os gêneros de organismos existentes na seqüência evolucionária) seriam certamente diferentes em alguns aspectos. (Simpson, *data apud* Hull, 1975, p. 139; grifo nosso exceto onde especificado.)

Ora, o experimento de pensamento de rebobinar a fita da vida não é mais do que “a repetição de alguns fatores”, que ainda assim não implica “uma repetição de causalidade histórica”. Não são somente as regras do processo evolutivo (“alguns fatores”) os

diretores da fita da história da vida. Se assim fosse, as reprises seriam sempre idênticas. As contingências, externas à lógica do processo evolutivo, se somam a ela para constituir “a totalidade dos fatores” que determinam a história evolutiva efetivamente observada. A complexidade histórica dos *taxa* emerge dessa interação e, por isso, Gould nos diz que é impraticável buscarmos leis que a descrevam.

Dissemos anteriormente que, para Gould, os fenômenos biológicos apresentam demasiada complexidade para que sejam adequadamente descritos por leis. McIntyre (1997) mostrou que uma definição de complexidade, necessária para dar coerência a essa rejeição gouldiana da praticidade de leis biológicas, acabaria por frustrar reflexivamente o argumento, porque validaria a lei de Dollo (tornando-a falsificável). Concordamos com McIntyre quando ele afirma que tanto Gould quanto Dollo necessitam de uma definição de complexidade, e suspeitamos que ela seja um detalhamento do conceito de *complexidade histórica* que esboçamos acima.

Mesmo assim, poderíamos tentar salvar o argumento de Gould por outra via, dizendo que a lei de Dollo, mesmo se for falsificável, não tem um conteúdo que diga respeito às particularidades que interessam à paleobiologia. Mas a predileção por particularidades históricas (em detrimento de generalizações nomotéticas) é comum a várias subdisciplinas presentes em qualquer grande ciência (v. seção 3.4) e não se pode inferir dela a impossibilidade de que existam leis em uma determinada esfera disciplinar. Mais ainda: é quase sempre imprescindível que as disciplinas históricas façam uso de preceitos legaliformes descobertos por suas contrapartes nomotéticas.

3.3.2 Resiliência contrafactual

Para Sterelny e Griffiths (cf. 1999, p. 297), a tese da contingência de Gould deve ser entendida como a afirmativa de que muitas características importantes da história da vida não apresentam *resiliência contrafactual*. “Resiliência” significa a capacidade que um determinado material tem em recuperar sua forma inicial após sofrer uma deformação. Em um sentido mais vago, “resiliência contrafactual” pode ser entendida como a *robustez* de um determinado processo, ou seja, sua capacidade de, dados vários conjuntos diferentes de condições iniciais (histórias contrafatuais), produzir sempre os mesmos resultados.

Gould nos diria que a ausência de resiliência contrafactual se reflete na estreita dependência que certos eventos têm em relação às condições iniciais: “qualquer *replay* cujo começo tivesse sofrido uma alteração aparentemente insignificante teria produzido

um resultado [...] completamente diferente” (Gould, 1990, p. 336). Se a luz ultravioleta tivesse provocado uma mutação diferente em uma população de bactérias primitivas, a superfície terrestre não estaria ocupada pelo *Homo sapiens*.

É importante perceber, entretanto, que Gould não defende uma tese da contingência radical. Nem todos os eventos da história da vida são absolutamente contingentes (no sentido de não ter resiliência contrafactual): Gould desconfia que a própria origem da vida “foi praticamente inevitável” (1990, p. 337). Para Gould, existem determinados eventos, entretanto, nos quais a história da vida deixa transparecer sua natureza contingente: de acordo com Sterelny e Griffiths (cf. 1999, p. 298-302), trata-se de acontecimentos como surgimentos de *taxa* específicos, surgimentos de complexos adaptativos e explorações do morfoespaço. Examinaremos a seguir esses três desdobramentos da tese da contingência.

3.3.3 *Três tipos de contingência*

CONTINGÊNCIA DE TAXA ESPECÍFICOS. De acordo com a visão aceita que enunciamos no capítulo 1, a formação de novas espécies ocorre com o isolamento de subpopulações da espécie ancestral. Mecanismos de isolamento geográfico, como a dispersão e a vicariância, são contingências *par excellence*. Além do mais, é raro que a subpopulação recém-isolada sobreviva e dê origem a uma nova espécie, porque, exposta a um ambiente ao qual talvez não esteja adaptada, pode a qualquer momento ser vítima de uma extinção. O nascimento de uma espécie, então, não apresenta resiliência contrafactual (cf. Sterelny e Griffiths, 1999, p. 298).

CONTINGÊNCIA DE COMPLEXOS ADAPTATIVOS. Um “complexo adaptativo” é um conjunto de adaptações em específico: a ecolocação aliada ao vôo é exemplo de um complexo adaptativo dos morcegos. Se concedermos que as pressões seletivas com as quais uma população se depara são contingentes, então certamente o surgimento de determinados complexos adaptativos não apresentará resiliência contrafactual. Imaginemos, entretanto, um experimento contrafactual “forte”, em que possamos aplicar as pressões seletivas que deram origem a um determinado complexo adaptativo a um *táxon* diferente do original. Aplicaríamos as mesmas pressões seletivas que deram origem ao complexo adaptativo “ecolocação com vôo” a roedores com hábitos de caça noturnos³⁴. Esse experimento nos permitiria determinar se a contingência dos

³⁴ Cabe ressaltar que essa não é a história evolutiva dos morcegos, em nosso mundo. Os quirópteros

complexos adaptativos decorre da contingência de *taxa* específicos ou não. Sterelny e Griffiths (cf. 1999, p. 299) defendem que há independência entre os dois fenômenos.

EXPLORAÇÕES CONTINGENTES DO MORFOESPAÇO. Se, como pretende Brian Goodwin (v. capítulo 4), as formas dos organismos sejam fruto de leis morfológicas ahistóricas, poderíamos dizer que o morfoespaço é explorado de forma não-contingente. Não temos, entretanto, razões suficientes para dizer que esse é o caso; portanto, é lícito pensar que o conjunto das formas *reais* dos organismos é um subconjunto das formas *possíveis* dos organismos. Houve a invenção de diversos planos corporais de artrópodes durante o Cambriano, mas terá sido essa exploração exaustiva? Se a resposta a essa pergunta for negativa, então se pode dizer que o morfoespaço é explorado de forma contingente (Sterelny e Griffiths, 1999, p. 299).

Suponhamos que se queira argumentar, contra Gould, que a história da vida *tenha* resiliência contrafactual. Um argumento possível seria dizer que, se os morcegos não tivessem evoluído a partir dos lagomorfos em um determinado tempo t_1 , *mesmo assim* irão evoluir a partir dos lagomorfos em um tempo t_2 , não importa se apliquemos ou não as “pressões seletivas produtoras de morcegos” a um grupo de roedores. Essa visão, que poderíamos chamar de *regeneracionista forte*, implica uma identidade entre contingência de *taxa* e contingência de complexos adaptativos.

Uma outra posição seria a regeneracionista *fraca*: se a contingência de *taxa* específicos não implicar a contingência de complexos adaptativos, então se pode argumentar que a história da vida tem certa resiliência contrafactual. As *convergências* seriam exemplos de ocasiões em que um mesmo complexo adaptativo aparece em dois *taxa* diferentes, e essa é a base do argumento de Conway Morris (1998) contra a tese da contingência. A questão é se, estritamente falando, determinada convergência envolverá dois complexos adaptativos ou um só. Se esse for o caso que envolva dois, é logicamente impossível esperar que o mesmo conjunto P de pressões seletivas que produziu o complexo adaptativo A_1 no *taxon* T_1 produza também A_1 no *taxon* T_2 , porque P produzirá em T_2 um complexo adaptativo diferente, digamos A_2 . A saída é estipular um conjunto de critérios que nos permita dizer que A_1 e A_2 , embora sejam complexos adaptativos diferentes, configuram uma convergência. Esse conjunto de critérios pressupõe, evidentemente, que uma semelhança de pressões seletivas produz uma

provavelmente evoluíram a partir dos lagomorfos (Sterelny e Griffiths, 1999, p. 299).

semelhança de complexos adaptativos³⁵.

3.4 Extrapolacionismo

Para que a tese da contingência não soe trivial, é mister entendê-la como uma reação ao que Gould chama de *extrapolacionismo*. Há duas formas de enunciar a posição extrapolacionista: uma *hierárquica* e outra *histórica* (cf. Gould, 1997). Embora ambas sejam faces da mesma moeda, faz-se útil termos em mente a distinção entre elas para analisarmos a crítica de Gould. Na formulação *hierárquica*, o extrapolacionismo é a negação de que existam fenômenos macroevolutivos independentes de causas microevolutivas: é “a visão de que a seleção natural dentro de populações locais é a fonte de toda mudança evolutiva importante” (Gould, 1982, p. 381).

Quando Darwin escreveu a *Origem das Espécies*, entretanto, não existia a noção de hierarquias na evolução (macroevolução, microevolução); mesmo assim, Gould o considera extrapolacionista. O extrapolacionismo presente em Darwin enfatizava o aspecto *histórico*, na medida em que considerava o surgimento de *taxa* superiores (classes, filos) como resultado da ação incessante da seleção natural durante a vastidão do tempo geológico. Aliás, o extrapolacionismo faz parte do princípio do alcance, um dos três princípios definitórios do darwinismo que mencionamos no capítulo 1. Em um trecho em que define o princípio do alcance, Gould escreve:

Darwin insistia na suficiência total da extrapolação, argumentando que o seu mecanismo microevolutivo, estendido através da imensidão do tempo geológico, seria inteiramente capaz de gerar todo o cortejo [*pageant*] da história da vida, tanto em complexidade anatômica quanto em diversidade taxonômica – e que outros princípios causais seriam desnecessários. (Gould, 2002, p. 15)

Em um texto anterior, Gould salienta a natureza idiográfica do trabalho da seleção natural:

Darwin [...] conseguiu apresentar [*render*] toda a história da vida como uma conseqüência extrapolada [...] de circunstâncias idiográficas – o princípio de seleção natural, trabalhando apenas (e incessantemente) ao nível de adaptações locais a ambientes imediatos. (Gould, 2001, p. 197)

Esse trecho nos revela a clareza que Gould tinha de que a seleção natural, ao mesmo

³⁵ Esse seria, segundo Sterelny e Griffiths (1999, p. 300), um princípio metodológico adaptacionista.

tempo em que é um *processo regular*, atua sobre condições iniciais *idiográficas* (adaptações a ambientes locais). Se os aspectos nomotéticos e idiográficos estão assim conciliados no princípio de seleção natural, qual é o foco da crítica de Gould? Cremos que o temor de Gould é que os princípios causais da mudança biológica – a lógica interna do processo evolutivo – sejam interpretados de maneira demasiadamente nomológica. Se o princípio de seleção natural fosse “extrapolável”, como queria Darwin, a paleobiologia seria *uniformitarista*; mas, claramente, as contingências nos forçam a sermos *catastrofistas* em paleobiologia.

Referimo-nos aqui a duas posições, uniformitarismo e catastrofismo, concorrentes na geologia do século 19. De maneira simplificada, os uniformitaristas, como Charles Lyell, acreditavam que todos os fenômenos geológicos não são mais do que acumulações, ao longo de milhões (hoje diríamos, bilhões) de anos, dos mesmos processos fundamentais (sedimentação, erosão, etc.). Catastrofistas como Georges Cuvier, por outro lado, acreditavam que a história geológica sofreu interferências de catástrofes – eventos súbitos, de curta duração (considerando a escala de tempo geológica), às vezes de alcance global.

Podemos entender, então, o extrapolacionismo criticado por Gould como o equivalente biológico do uniformitarismo em geologia³⁶. Unindo os aspectos hierárquicos e históricos do extrapolacionismo, podemos enunciá-lo como a visão de que os padrões macroevolutivos são resultantes unicamente da *iteração* (execução repetitiva) de um mecanismo microevolutivo (seleção natural) na vastidão do tempo geológico. Seria o equivalente a dizer, em geologia, que grandes cadeias de montanhas são formadas pela lenta acumulação de sedimentos, trabalhando incessantemente durante bilhões de anos. Gould, então, perguntaria: se o uniformitarismo em geologia é considerado ultrapassado, por que o estudo da filogenia ainda tem de ser uniformitarista? Acaso as extinções em massa (Raup, 1991) – o equivalente biológico das catástrofes – não são suficientes para nos forçar a adotar uma visão catastrofista da história da vida?

³⁶ O anti-uniformitarismo de Gould tem raízes profundas: a primeira publicação de Gould foi uma crítica ao uniformitarismo. Em Gould (2002, p. 44-5) há um relato anedótico sobre aquele *paper* e uma justificativa de nossa interpretação. Em uma entrevista para *A Terceira Cultura*, livro editado por John Brockman, Gould utiliza a expressão “extrapolação biouniformitarista” para se referir ao extrapolacionismo (Gould entrevistado em Brockman, 1996, p. 49).

Parafrazeando uma passagem de Gould que citamos na seção 3.3.1, essas são questões de foco. Conforme ilustraremos no próximo capítulo, todo grande campo científico tem algumas sub-disciplinas interessadas em identificar as particularidades históricas de seu objeto de estudo e outras cuja ementa é utilizar esse objeto como *meio* para a elucidação de regras mais gerais às quais, de alguma forma, obedece. A paleobiologia e a geologia histórica são disciplinas do primeiro tipo: longe de negarem os mecanismos causais mais elementares (seleção natural, processos geológicos), os utilizam como pano de fundo sobre o qual recontam os detalhes históricos de seus objetos de estudo. Uma explicação histórica *pressupõe* os mecanismos, mas de modo algum prescinde deles. Basta pensarmos como seria impossível recontar a história do sistema solar sem fazer uso das leis da astrofísica.

Disciplinas biológicas como a genética de populações, na medida em que discursam apenas sobre a microevolução, ainda podem ser razoavelmente uniformitaristas (ou extrapolacionistas). E, com certeza, muitos fenômenos geológicos de pequena escala podem ser explicados apelando somente àqueles microprocessos descobertos pelo pensamento uniformitarista. É o nível do fenômeno a ser explicado que irá ditar qual recurso explicativo o cientista tem de utilizar.

Dissemos no capítulo 1 que a tese da contingência era um desafio ao poder explicativo do princípio de seleção natural. Diante do que expusemos nesta seção, no entanto, nos parece claro que a tese da contingência não questiona a validade desse princípio para a explicação de fenômenos microevolutivos. Como alguns autores assinalaram³⁷, as ciências históricas fazem uso de um mecanismo explicativo diferente daquele das ciências nomotéticas. Se Gould está de alguma forma argumentando que os fenômenos macroevolutivos são largamente dependentes da história, então tem de propor que a paleobiologia utilize de um recurso explicativo próprio às ciências históricas. No capítulo 4, detalharemos esse mecanismo, a narrativa, e veremos como ele é abordado por Gould.

A seguir, discutiremos se o catastrofismo proposto pela tese da contingência exige revisões no darwinismo e no neodarwinismo.

3.5 As mesmas regras ou regras diferentes?

A possibilidade de que as extinções em massa exijam revisões na teoria evolutiva é

³⁷ Ver Beltrán (1998) para uma revisão.

controversa. Gould defende expressamente que as extinções em massa invalidam o extrapolacionismo, e essa poderia ser a formulação mais relevante da tese da contingência. Raup (1991) parece concordar com Gould, embora existam algumas divergências entre eles quanto às *regras* que operam durante uma extinção em massa (ver a seguir). Sterelny e Griffiths (1999) e Todd Grantham (2004) vêem a tese da contingência como compatível com o extrapolacionismo. Para Grantham, entretanto, a refutação do extrapolacionismo vem do chamado *argumento da evolvabilidade* de Gould (desenvolvido no capítulo 12 de Gould, 2002).

Em nossa opinião, o debate se articula sobre a questão de se as regras darwinianas são cumpridas durante (e imediatamente após) os períodos de extinções em massa. Gould, por um lado, contrasta o que se esperaria se as regras darwinianas operassem nesses períodos com o que é efetivamente observado:

Quando extinções em massa, e tais episódios de rápida diversificação como a explosão cambriana, eram vistos como artefatos de um registro imperfeito – e a realidade como sendo (no máximo) uma intensificação do negócio rotineiro [*business as usual*] durante um intervalo relativamente curto –, a extrapolação darwiniana podia funcionar, porque esses períodos de intensidade podiam ser apresentados [*rendered*] como tempos difíceis em que uma competição darwiniana ainda mais acirrada imperava [*swept the field*], levando assim à melhora adaptativa ainda mais eficiente (e *previsível*). Mas agora, com as extinções em massa [...] vistas como mais rápidas, mais intensas, mais diferentes, e mais frequentes do que tínhamos imaginado, *deve-se conceder a elas um status causal separado em determinar o padrão da história da vida*. Se esses eventos contingentes não tivessem ocorrido, a vida seria fundamentalmente diferente hoje, não meramente ajustada [*fine tuned*] ao longo do mesmo caminho. (Gould, 1995, p. 8; grifos nossos.)

Para Gould, não é o acaso que impera nos tempos vizinhos a uma extinção em massa, mas “regras diferentes”. Explica Gould:

Eu mesmo não acredito que o verdadeiro acaso predomine nas extinções em massa (ainda que ele provavelmente desempenhe algum papel, especialmente nas extinções mais profundas). Penso que a maioria dos sobreviventes escapa da morte por razões específicas, muitas vezes por um complexo conjunto de causas. Mas também desconfio que, na grande maioria dos casos, os traços que aumentam a sobrevivência durante uma extinção o fazem de maneiras incidentais e que não guardam qualquer relação com as razões pelas quais eles originalmente evoluíram. [...]

Esta asserção é o elemento central do modelo de regras diferentes. Em tempos normais,

os animais desenvolvem seus tamanhos, suas formas e suas fisiologias de acordo com a seleção natural e por razões específicas (geralmente envolvendo vantagens adaptativas). Depois vem uma extinção em massa, com suas “regras diferentes” de sobrevivência. Sob as novas normas, seus melhores traços, a causa de sua prosperidade anterior, podem se transformar em uma sentença de morte. Um traço antes sem importância, que apenas pegou uma carona no processo evolutivo como consequência indireta de outra adaptação, talvez seja agora a chave da sobrevivência. Em princípio, pode não haver nenhuma correlação causal entre as razões para a evolução de uma característica e sua contribuição para a sobrevivência da espécie sob as novas regras. (Gould, 1990, p. 359-60)

Percebe-se, entretanto, certa contradição em Gould. A primeira passagem que citamos nesta seção nos fez esperar que Gould enunciasse um conjunto de regras não-darwinianas que operassem nos tempos de extinção em massa. Mas o modelo de “regras diferentes” de Gould é darwiniano, no sentido de que as novas regras são, na verdade, as velhas regras em um novo ambiente:

Ao pensar sobre a evolução, podemos distinguir entre os mecanismos da evolução e o ambiente em que esses mecanismos operam. Os mecanismos incluem mutação e recombinação, mecanismos que geram diversidade. Também incluem seleção e deriva, mecanismos pelos quais a diversidade é moldada [*shaped*]. E incluem migração e outros mecanismos que impõem estruturas nas populações de organismos, freqüentemente dividindo populações em subpopulações. [...] Esses mecanismos também incluem [...] as muitas interações entre os mecanismos genéticos e não-genéticos da herança. Uma forma natural de entender o extrapolicionismo é vê-lo como a afirmação de que os mecanismos que podemos observar em populações naturais (e experimentais), em uma escala de tempo ecológica, nos dá um inventário completo dos mecanismos da evolução. Em ambientes diferentes – incluindo aqueles bastante excepcionais característicos das extinções em massa – esses mecanismos interagem entre si e com o ambiente para gerar *resultados* bastante diferentes daqueles dos quais estamos em uma posição para observar. *Mas eles o fazem pela operação de mecanismos normais em um mundo anormal* [grifo nosso]. Assim concebido, o extrapolicionismo é consistente com a idéia de que as extinções de massa remodelam [*reshape*] fundamentalmente a árvore da vida. (Sterelny e Griffiths, 1999, p. 305-6)

Sterelny e Griffiths atentam para o fato de que é falacioso pensar que as regras atuantes durante uma extinção em massa não são darwinianas. A seleção natural continua agindo e, embora esteja selecionando caracteres diferentes dos que fazia em tempos normais, isso não quer dizer que as pressões seletivas sejam atenuadas ou

inexistentes. Talvez as mudanças de foco da seleção sejam, às vezes, mal-interpretadas como perdas de intensidade das pressões seletivas. Sterelny e Griffiths concluem que o que acontece durante uma extinção em massa é a atuação das regras “normais” em um ambiente “anormal”.

Grantham mantém uma posição bastante similar à de Sterelny e Griffiths:

Embora os padrões observados de evolução possam mudar durante as extinções em massa, esses padrões podem (em geral) ser explicados por processos evolutivos comuns atuando em um ambiente altamente incomum. Por isso, as extinções em massa não requerem qualquer mudança fundamental na *teoria* evolutiva. (Grantham, 2004, p. 33)

Trivialmente, podemos dizer que, no momento em que o ambiente sofre uma mudança drástica, as pressões seletivas acompanham a mudança e mudam de foco mais rapidamente do que a taxa de mutação da população permite acompanhar, freqüentemente selecionando características presentes na população por razões não-adaptativas. Grantham propõe que esta última abordagem é mais eficaz em solapar o extrapolicionismo. Sendo o número de caracteres passíveis de ser selecionados potencialmente infinito, não há como prevermos qual caractere conferirá um alto valor de aptidão a seu portador durante as refocalizações bruscas de pressão seletiva, como durante as extinções em massa.

O “traço sem importância” de Gould pode não ser *originalmente* uma adaptação (acreditamos que essa é a razão da confusão), mas, na medida em que se torna a “chave da sobrevivência”, passa a conferir uma vantagem competitiva a seu portador. Gould (2002) elabora o conceito de *pool exaptativo* (baseado no conceito de *exaptação*: v. capítulo 1) para indicar justamente o conjunto de características potencialmente adaptativas de um clado. Como não sabemos de antemão qual traço do *exaptive pool* será selecionado pelo ambiente durante a extinção, não podemos prever o resultado evolutivo do processo. No entanto, táxons com um *pool exaptativo* maior têm mais “cartas na manga” para quando as condições se tornam adversas: são mais *evoluíveis*. Táxons que apresentam alta *evolvabilidade* são os que mais se ramificam, ou que por mais tempo perduram, na árvore da vida.

3.6 A natureza algorítmica do processo evolutivo

Dennett, em *A Perigosa Idéia de Darwin* (1998), escreve que a tese da contingência de Gould é uma tentativa de mostrar que o processo evolutivo não é algorítmico. Um

algoritmo, segundo Dennett, é uma receita infalível para produzir um determinado resultado, mas sua infalibilidade não decorre de uma “racionalidade” subjacente. Pelo contrário: todo algoritmo é intrinsecamente irracional³⁸, podendo ser decomposto em etapas tão simples que podem ser levadas a cabo mecanicamente (Dennett, 1998, p. 53). Programas de computador são exemplos clássicos de algoritmos, assim como procedimentos realizados manualmente, como a operação aritmética de divisão; mas Dennett chama a atenção para alguns processos que não chamaríamos intuitivamente de algoritmos: os torneios eliminatórios.

Um campeonato como a Copa do Mundo, por exemplo, é um algoritmo no sentido de que sua finalidade é fazer com que uma das equipes envolvidas seja declarada campeã, realizando, para tanto, uma série de processos repetitivos (jogos entre as equipes). Note-se que não é um algoritmo destinado a declarar como campeã uma determinada equipe *em específico*, como a Itália ou o Brasil. É um processo irracional, porque a competição e a seleção envolvem critérios objetivos, de modo que os resultados podem ser processados por um computador (Dennett, 1998, p. 55).

Se pensarmos o processo evolutivo como um algoritmo nesse sentido, tendo a seleção natural como *modus operandi*, a irracionalidade subjacente se torna evidente. E, assim como a Copa do Mundo, não é um algoritmo destinado a declarar campeão um determinado time em específico, a evolução não seria um algoritmo destinado a “produzir” a espécie *Homo sapiens*. Aliás, em nenhum sentido se poderia falar que a nossa espécie seja a “campeã” (Gould, 1994b).

Dennett escreve então: “A evolução não é um processo planejado para nos produzir, mas não se conclui daí que a evolução não seja um processo algorítmico que tenha de fato nos produzido” (Dennett, 1998, p. 59). Cremos que Dennett tenha feito uma caracterização errônea da tese da contingência. Diante da caracterização que fizemos neste capítulo, nos parece claro que Gould não está argumentando que o processo evolutivo não é algorítmico, mas sim que, dada a complexidade histórica que ele envolve, seus resultados não podem ser explicados apelando-se unicamente ao algoritmo.

Parece claro também, por outro lado, que a tese da contingência não é empiricamente

³⁸ Não está em jogo, obviamente, a racionalidade do projetista do algoritmo, tampouco que o algoritmo sirva a algum *propósito* racional. A irracionalidade intrínseca a que Dennett se refere é melhor ilustrada por sua idéia dos “homúnculos burros” (v. Dennett, 1978, p. 124).

testável e esta é outra razão para que a tenhamos caracterizado como epistemológica. No capítulo seguinte, então, exploraremos os desdobramentos epistemológicos tanto da tese da contingência quanto da tese da auto-organização.

4 DISCUSSÃO: O NOMOTÉTICO E O HISTÓRICO EM KAUFFMAN E GOULD

4.1 Apresentação: o problema das leis em biologia

Para o movimento do início do século 20 que ficou conhecido como “positivismo lógico” ou “empirismo lógico”, a física era o modelo de ciência. Alguns dos critérios de demarcação entre ciência e *não-ciência* foram definidos pelos positivistas lógicos em termos do papel exercido pelas leis na explicação e predição científicas. O problema é que em quase nenhuma outra ciência há leis como as da física, e nem por isso chamamos de “não-científicas” essas ciências menos “duras”. Deve-se admitir, então, que outras modalidades de generalização, diferentes das leis da física, também têm poder explicativo.

Em filosofia da biologia, uma das primeiras revisões sobre o problema das leis foi feita por David Hull no livro *Filosofia da Ciência Biológica* (1975, p. 103-42). Hull examina uma série de critérios de definição, supostamente cumpridos pelas leis da física, mas não pelas generalizações biológicas. Parte da apresentação de Hull é uma resposta à clássica objeção de Smart, de que não pode haver leis em biologia porque as espécies (linhagens em evolução) são indivíduos e, portanto, não podem figurar em leis científicas. O argumento de Smart é o de que leis devem ser espacial e temporalmente irrestritas, mas um indivíduo é uma delimitação espaço-temporal. Hull defende a tese de que generalizações que dizem respeito à composição genética dos organismos e às reações bioquímicas que os produzem podem não fazer referência a indivíduos – seriam, portanto, leis biológicas “de baixo nível” (Hull, 1975, p. 116).

Em uma revisão, Robert Brandon (1997) toma distância da indagação sobre o estatuto de cientificidade da biologia em função da utilização ou não de leis nas explicações biológicas. Brandon sustenta uma versão fraca da *tese da contingência evolutiva* (Beatty, 1995; 1997), argumentando que, se os biólogos estão interessados em regularidades contingentes, é porque a *própria evolução produz fenômenos que*

apresentam regularidade contingente. Essa tese “é incompatível com uma visão que considere o objetivo primário da biologia como a busca de leis fundamentais” (Brandon, 1997, p. S445).

O objetivo cognitivo do estruturalismo de processos, contra o qual queremos contrastar o programa de pesquisa kauffmaniano, é precisamente a busca por leis fundamentais da morfologia e do desenvolvimento. Na seção 4.2.3, argumentaremos que, embora Kauffman se reporte freqüentemente à “busca por leis da complexidade e da auto-organização”³⁹, o que ele entende por “leis” é o que Brandon (1997, p. S456) chama de *generalizações analíticas*, como o equilíbrio de Hardy-Weinberg e outros enunciados da genética de populações.

Afinal, leis científicas no sentido forte do positivismo lógico são “generalizações universais verdadeiras, não em virtude da lógica ou matemática puras (*não são analíticas*), mas em virtude da maneira como o mundo é (*são sintéticas*)”⁴⁰ (Brandon 1997, p. S445; grifos nossos). Além disso, diversos autores mostraram como as leis, nesse sentido, *têm necessidade nômica* (e não *lógica*), ou seja, habilidade de suportar contrafatuais; e *são usadas essencialmente na explicação científica* (por exemplo, no modelo nomológico-dedutivo de Hempel).

A necessidade nômica pode ser ilustrada por um exemplo clássico. Consideremos a diferença entre:

(a) nenhuma esfera densa de ouro puro tem mais de um quilômetro de diâmetro;

e

(b) nenhuma esfera densa de urânio enriquecido puro tem mais de um quilômetro de diâmetro.

Enquanto (a) pode ser verdadeira, bastaria juntarmos ouro suficiente para construir uma esfera desse tipo e ela se tornaria falsa; ou seja, (a) não suporta contrafatuais. Por outro lado, (b) é verdadeira porque qualquer agregação de urânio enriquecido é extremamente instável, e seria impossível construir uma esfera de um quilômetro de diâmetro ((b) suporta contrafatuais). Por isso, (b) tem a marca da necessidade nômica e (a) não (Brandon, 1997, p. S445).

³⁹ A expressão é inclusive o subtítulo de seu segundo livro, *At Home in the Universe* (Kauffman 1995).

⁴⁰ Sober (1993; 1997) argumenta em favor de um conceito mais promíscuo de lei, autorizando que generalizações analíticas sejam chamadas de leis – v. seção 4.2.3.

O papel das leis na explicação científica é claro no modelo nomológico-dedutivo de Hempel (1979 [1965]). *Explicar* um fenômeno natural, na concepção hempeliana, é apontar um conjunto de condições iniciais tais que, subsumidas a um conjunto de leis relevantes, resultam no fenômeno sob investigação. Explicar uma fissão nuclear de um agregado de urânio enriquecido envolve a enumeração de um conjunto de dados específicos, tais como a massa do agregado (condições iniciais), e a apelação a uma lei física que diga, por exemplo, que a partir de uma determinada massa crítica o agregado se tornaria instável. O evento a ser explicado constitui o *explanandum* da explicação; o conjunto das condições iniciais e leis forma o *explanans*.

Brandon retoma ainda dois exemplos de John Stuart Mill e Nelson Goodman para acrescentar que as leis também são projetáveis para quaisquer instâncias relevantes (cf. Brandon 1997, p. S446-7). Podemos ter bastante certeza de que, se um químico anuncia que o cobre conduz eletricidade, todas as moedas de cobre que encontrarmos (instâncias) conduzirão eletricidade. A projetabilidade de que fala Brandon nada mais é do que a exigência clássica de que as leis sejam irrestritas temporal e espacialmente⁴¹.

Embora necessidade nômica, relevância para a explicação e projetabilidade possam ser vistos como critérios inseparáveis na caracterização de uma lei, Brandon (1997, p. S453-7) argumenta que as generalizações biológicas forçam uma separação entre os três itens. Brandon distingue dois tipos de generalizações em biologia: analíticas, como o já citado equilíbrio de Hardy-Weinberg e a regressão à média de Galton; e regularidades contingentes, como a afirmação de que a vida na Terra é baseada em um código genético composto de ácidos nucleicos. As generalizações analíticas têm poder explicativo explícito em algumas áreas da biologia e, sendo destituídas de conteúdo empírico, poderia-se argumentar que são projetáveis. As regularidades contingentes têm uma necessidade nômica restrita espaço-temporalmente e certo nível de poder explicativo, mas não são projetáveis.

Para entender esse ponto, consideremos a afirmativa que fizemos anteriormente:

A vida na Terra é baseada em um código genético composto de ácidos nucleicos.

Essa generalização suporta contrafatuais, na medida em que não há organismo terrestre que não tenha um código genético e, portanto, tem necessidade nômica “local”,

⁴¹ Portanto, Brandon usa o termo em um sentido diferente do que Quine em “Natural Kinds” (cf. 1969, p. 115)

isto é, restrita à Terra e pelo menos aos últimos 600 milhões de anos. Também tem certo poder explicativo quando, por exemplo, queremos saber como se dá a herança de algumas características dos organismos terrestres. Se, no entanto, encontrássemos vida em outro planeta que não fosse baseada em um código genético composto de ácidos nucléicos, mostraríamos que ela não é projetável para quaisquer instâncias possíveis de “vida”.

É importante termos em mente os conceitos de necessidade nômica, explicação nomológico-dedutiva e projetabilidade para a discussão que se segue. Este capítulo está dividido em três grandes seções, sendo que cada uma busca responder a uma das questões secundárias de nossa investigação (v. capítulo 1). Na seção 4.2, procuraremos elucidar se Kauffman pode ser considerado um estruturalista. Para isso, serão expostas duas características emblemáticas presentes em algumas formas de estruturalismo: a preocupação pelas *bases morfológicas* da organização (4.2.1) e a *perspectiva transformacional* da evolução (4.2.2). Argumentaremos (4.2.3) que nenhuma das duas características está presente em Kauffman. Na seção 4.3, examinaremos o ideal de explicação proposto por Gould para a paleobiologia. Veremos como ele se relaciona com a *tese de simetria entre explicação e predição* (4.3.1) e com a idéia de *sujeitos centrais* de Hull (4.3.2). Por fim, em 4.4 compararemos a tese da contingência com a tese da auto-organização no que se refere à distinção entre internalismo e externalismo.

4.2 É Kauffman um estruturalista?

Diversos autores (Depew e Weber, 1995; Richardson, 2001; Gould, 2002; entre outros), buscando antecessores da abordagem kauffmaniana no domínio da biologia, vincularam o projeto de pesquisa de Kauffman à tradição *estruturalista*, com bases na *morfologia racional* alemã, alternativamente descrita como a busca pelas “leis da forma” e por uma “morfologia pura” (Webster e Goodwin, 2006 [1982]; Smith, 1992; Richardson, 2001; Gould, 2002), e ainda como uma espécie de “neo-geoffroyismo”⁴² (Depew e Weber, 1995). Enquanto o próprio Kauffman endossa essa vinculação (v. seção 4.2.1), podemos dizer que ela só se dá na medida em que Kauffman realiza uma abordagem *ahistórica* de alguns problemas biológicos. Ademais, enquanto a tradição de pesquisa relacionada à problemática da morfologia, de Étienne Geoffroy de Saint-

⁴² Embora esse termo seja questionável: pode-se argumentar que Geoffroy St. Hilaire não objetivava uma “morfologia pura” (Caponi, 2004b; 2006a).

Hilaire a Brian Goodwin, passando por D'Arcy Thompson, necessariamente tem de se debruçar sobre o que chamaremos de *bases morfológicas* da organização biológica, esse interesse é secundário, ou mesmo inexistente, no projeto kauffmaniano.

Acreditamos que a motivação de Kauffman possa ser mais bem descrita como a investigação das *leis analíticas* da organização biológica e seu impacto para a biologia evolutiva. Nesse sentido, conforme apontaram independentemente Gayon (1997) e Richardson (2001), a agenda kauffmaniana encontra precursores nos trabalhos sobre genética de populações feitos por Fisher e Wright no início do século 20. Argumentaremos que a analogia é convincente porque tanto Fisher e Wright quanto Kauffman freqüentemente adotam modelos explicativos próximos ao que Elliott Sober chamou de *explicação de equilíbrio* (Sober, 1984; Richardson, 2001).

4.2.1 O que é o estruturalismo em biologia?

Dissemos, na seção 1.2.2, que a síntese neodarwiniana reconhecidamente relegou os fenômenos ontogenéticos ao segundo plano, colocando o desenvolvimento entre parênteses e abrindo caminho para o estudo da evolução baseado em organismos adultos. Ron Amundson (2006) compara o neodarwinismo ao *behaviorismo*, que, ao abdicar de termos mentalistas no estudo do comportamento, realizou uma manobra heurística de investigação. O valor dessa manobra estaria justamente no fato de que os predicados mentalistas não eram tratáveis pela metodologia da época. Mais tarde, a abordagem *cognitivista*, tornada possível pelos avanços em neurociências, viria a abrir a caixa-preta da mente que o behaviorismo metodológico havia fechado. Na analogia de Amundson, o equivalente do cognitivismo na biologia evolutiva seria a biologia evolutiva do desenvolvimento, ou *evo-devo*, que atualmente dispõe de recursos metodológicos para o tratamento da relação entre desenvolvimento e evolução. A *evo-devo* seria a culminação de uma tradição, dita *estruturalista*, enraizada no estudo pré-darwiniano das formas dos seres vivos (Amundson, 2006).

Antes da consolidação da *evo-devo*, entretanto, uma onda de descontentamento com a negligência neodarwiniana da ontogenia gerou uma forma mais radical de estruturalismo: o auto-proclamado *estruturalismo de processos* (Webster e Goodwin, 2006 [1982]; Ho e Saunders, 1984b; Smith, 1992). O sentido da palavra “estruturalismo”, no estruturalismo de processos, é resumido por Azkonobieta:

Em primeiro lugar[, para os estruturalistas de processos], os organismos são “todos estruturais” em que as partes devem ser entendidas em função de sua relação entre elas e

seu lugar na estrutura global. Em segundo lugar, as diversas formas adultas constituem sistemas de transformações empiricamente reconhecíveis [...]. [...] O organismo, portanto, é percebido como uma unidade estrutural auto-organizada e governada por leis. (Azkonobieta, 2005, p. 15)

Os estruturalistas de processos procuram reconhecer Georges Cuvier, Étienne Geoffroy de Saint-Hilaire, Richard Owen, D'Arcy Thompson e um conjunto de pensadores alemães dos séculos 18 e 19 (os “morfologistas racionais”) como antecessores de sua abordagem (Ho e Saunders, 1984b; Webster, 1984). O estruturalismo de processos não tinha a intenção de conciliar a biologia do desenvolvimento com o neodarwinismo, mas sim de refocalizar os problemas biológicos abolindo tudo o que havia de contingente e aleatório e enfatizando o nomotético e universal:

Os estruturalistas de processos acrescentam à posição estruturalista geral uma ênfase nas possibilidades de sistemas de herança “extra-genéticos” e um ataque frontal à adequação *teórica* do neodarwinismo na esperança de reviver o sonho do morfologista racional. Eles tendem a adotar uma visão mais européia da metateoria da ciência, que atribui maior importância à universalidade das leis científicas, rejeitando a confiança na contingência histórica. Eles argumentam que, somente minimizando o papel de processos contingentes (p. ex. mutação e deriva), é que a biologia pode ter esperança de amadurecer em uma “verdadeira ciência”. (Smith, 1992, p. 433-4)

Embora tais visões dos estruturalistas de processos possam soar ingênuas diante de análises como a feita por Brandon (1997), ou reivindicações pela cientificidade da contingência como a de Gould (2001), deve-se conceder que “[o] conceito neodarwiniano de variação aleatória [acrescentaríamos, isotrópica] carrega consigo a grande falácia de que tudo o que é concebível é possível” (Ho e Saunders, 1984b, p. 5). O confronto entre o concebível e o possível é explicitado pelo reconhecimento do chamado *problema da forma*:

O problema central para os estruturalistas de processos, como para os morfologistas racionais, é o Problema da Forma. Quer dizer, é a questão sobre como uma morfologia (forma) pode ser mantida como um grupo relativamente distinto no morfoespaço, no decorrer do tempo, e ainda assim exibir a capacidade de transformações periódicas. O estruturalismo de processos argumenta que esses fenômenos só podem ser explicados se processos gerativos (desenvolvimentais) que realizarem a morfologia exibam fortes restrições [*constraints*] bem como fortes potenciais em relação à mudança evolutiva.

(Smith, 1992, p. 435)

A idéia de morfoespaço, e de como as formas se agrupam em regiões dele, se tornou famosa a partir da ilustração de Alberch (v. figura *apud* Amundson, 1998), que Amundson contrastou com as paisagens adaptativas de Wright (v. capítulo 2). O que se torna gritante é que, enquanto qualquer ponto de uma paisagem adaptativa possa em princípio ser ocupado, há a possibilidade de que determinadas regiões do morfoespaço estejam interdidas por restrições desenvolvimentais. Vertebrados hexápodos parecem estar em uma dessas “áreas proibidas”: podemos conceber um cavalo de seis pernas, embora ele talvez seja desenvolvimentalmente impossível (Arthur, 2004, p. 10).

Pelo que podemos perceber até aqui, há bastante semelhança entre a colocação do problema da forma em abordagens estruturalistas em um sentido mais geral, como a evo-devo, e o radical estruturalismo de processos. Entretanto, a diferença entre as duas abordagens se torna marcante quando examinamos como cada uma delas concebe a natureza das restrições desenvolvimentais⁴³. Para alguns teóricos da evo-devo, as restrições desenvolvimentais são contingentes e históricas; quer dizer, no exemplo do cavalo, poderíamos dizer, como de fato o faz Wallace Arthur, que não existem cavalos hexápodos somente porque a história evolutiva dos cavalos inviabilizou essa possibilidade desenvolvimental (Arthur, 2004). Para estruturalistas de processos como Brian Goodwin, por outro lado, as restrições desenvolvimentais são *ahistóricas*, ou seja, irrestritas temporal e espacialmente. Goodwin pretende que suas *leis gerativas*, um complexo conjunto de equações influenciado por leis físico-químicas que circunscreve as possibilidades transformacionais de uma determinada configuração morfológica, tenha certa necessidade nômica (cf. Goodwin, 1984; v. seção 4.1).

Para os efeitos da presente investigação, teremos de deixar de lado a importante análise sobre as diferenças entre o estruturalismo mais “geral” da evo-devo e o estruturalismo de processos, bem como as diferenças entre este último e o programa kauffmaniano. O que nos interessa é mostrar como quaisquer abordagens ditas estruturalistas estão pautadas com uma preocupação pela morfologia dos organismos. Não importa se entendamos “organização biológica” como “modo de funcionamento” ou “modo de constituição”⁴⁴, ou ainda como a dualidade estrutural/funcional entrevista

⁴³ Seguimos aqui a terminologia de Resnik (1995).

⁴⁴ Dois conceitos históricos de “organização” que, segundo Caponi (2006a), estavam por trás da *polêmica dos análogos*, protagonizada por Georges Cuvier e Geoffroy de Saint-Hilare.

por Lwoff (v. seção 2.2) – na nossa opinião, o que dá coerência ao estruturalismo é a investigação do que chamaremos de *bases morfológicas da organização*. Vejamos como as bases morfológicas são particularmente evidentes no epítome do estruturalismo, a teoria thompsoniana das transformações.

A teoria das transformações é elaborada em um capítulo do livro *On Growth and Form* (1942), de Thompson. As “transformações” de Thompson são apresentadas em um resumo bastante esquemático por Arthur:

Você [*sic*] toma ou o contorno de todo um animal ou planta, ou o contorno de alguma de suas partes componentes, como um osso ou uma folha, e o desenha contra um fundo contendo um quadriculado [*grid*] cartesiano (por exemplo, papel quadriculado comum). Então você submete o quadriculado a alguma transformação matemática sistemática, como o estiramento em uma dimensão ou uma distorção de tal modo que seus quadrados se tornam rombóides. Você inspeciona o contorno transformado do animal que você desenhou fielmente no quadriculado original e percebe que, em muitos casos, longe de ser uma forma estranha, o contorno transformado corresponde à forma de algum animal aparentado. (Arthur, 2006, p. 401)

Assim, se pode transformar o aspecto morfológico de um gênero de artrópode no de um outro gênero aparentado, de um gênero de peixe em outro, e mesmo do crânio humano em um crânio de chimpanzé ou de babuíno (v. ilustrações em Arthur, 2006). É importante assinalar que, na maioria dos casos, não há uma racionalidade filogenética na escolha do contorno inicial que sofrerá a transformação; isto é, nas transformações, Thompson não escolhia uma espécie ancestral como ponto de partida, na tentativa de determinar a ordem em que as transformações efetivamente ocorreram (Arthur, 2006, p. 403). Nesse sentido, as transformações de D’Arcy Thompson são ahistóricas, pois ignoram as relações filogenéticas entre os organismos que estão sendo transformados.

Como se pode perceber, as bases morfológicas têm primazia no estruturalismo thompsoniano: determinar como uma forma poderia se transformar em outra é mais importante do que estabelecer relações filogenéticas entre as formas, e mais importante até do que procurar pelas causas eficientes dessas transformações. De fato, a causa pode ser a simples deriva pelo morfoespaço. Se há algum sucessor de Thompson na biologia moderna, ele é Brian Goodwin⁴⁵, que escreve a esse respeito:

⁴⁵ Embora haja uma reformulação computacional da teoria das transformações, feita pelos autores do chamado “método Procrustes” (cf. Chaline, 2006, p. 294-7)

A “nova” biologia [isto é, o estruturalismo de processos] adota a forma de uma ciência exata dos sistemas complexos preocupada com a dinâmica e a ordem emergente. A partir daí tudo muda. Em vez de metáforas de conflito, competência, genes egoístas ou picos dentro de paisagens adaptativas, o que temos é uma dança evolutiva. Não há metas. Como diz Stephen Jay Gould, não há propósito, nem metas, nem orientação. É uma dança através do morfoespaço, o espaço das formas orgânicas. (Goodwin entrevistado em Brockman, 1996, p. 89)

Goodwin afirma que o fenômeno adaptativo é um pseudo-fenômeno, uma vez que o papel da seleção natural na determinação da morfologia dos organismos deve ser considerado irrisório (Goodwin entrevistado em Lewin, 1994). Esse é o sentido de “não há [...] metas” na citação acima, embora a referência a Gould seja indevida (Gould jamais negou a existência de adaptações). Devido ao fato de que uma adaptação é sempre *para alguma coisa*, a biologia evolutiva foi diversas vezes criticada por ser teleológica. Além disso, uma adaptação sempre depende contingentemente de uma pressão seletiva e, por isso, não muito tratável do ponto de vista nomotético. Talvez essas duas características, teleologia e contingência, sejam responsáveis pelo banimento da temática adaptativa para fora das preocupações dos estruturalistas de processos.

Um segundo sentido em que o estruturalismo pode ser considerado ahistórico é a já mencionada busca por leis da forma que sejam irrestritas temporal e espacialmente. Nesse sentido, Kauffman também procura por leis ahistóricas, mas elas não são leis da forma. Voltaremos a esse ponto na seção 4.2.3, mas antes cumpre fazer mais uma distinção que nos ajudará a esclarecer os objetivos cognitivos de Kauffman.

4.2.2 *Explicação seletional, explicação transformacional e explicação de equilíbrio*

Elliott Sober (1984) nos convida a imaginar a seguinte situação: constatamos que, em uma determinada sala de aula, todos os alunos sabem ler. A causa do fenômeno pode ser uma *transformação* individual, ocorrida em cada um dos alunos presentes na sala, da condição de analfabeto para a de alfabetizado. Uma outra explicação poderia ser que, antes de entrarmos na sala, a professora teria aplicado um teste de leitura e expulsado da sala todos os alunos que não fossem capazes de ler. O conjunto de alunos que permaneceu teria sido *selecionado* em relação a uma alternativa (o conjunto de alunos que não sabiam ler) por meio um crivo (o teste de leitura).

O primeiro tipo de explicação é chamado de *transformacional* ou *desenvolvimental*, porque o estado atual de uma população é explicado em função de um conjunto de

histórias ontogenéticas. Na explicação transformacional, não existe “população” no sentido darwiniano do termo (Caponi, 2005). Claramente, a teoria da seleção natural envolve explicações do segundo tipo, ou seja, *explicações seletivas*. O estado atual de uma *população* é explicado em função da história de seleções (competição entre alternativas frente a um crivo) pelas quais ela passou.

Na verdade, como ressalta Sober, explicar um fenômeno é mostrar porque ele aconteceu *em lugar de* um outro fenômeno igualmente viável (Sober, 1984). Em vista disso, os modelos transformacional/desenvolvimental e seletional podem ser assim contrastados:

A história desenvolvimental diz porque cada indivíduo tem um nível de leitura diferente e não outro. A história seletional, por outro lado, mostra porque a sala está preenchida por indivíduos lendo em um determinado nível de leitura e não por outros indivíduos com outras habilidades de leitura. (Sober, 1984, p. 149)

Teorias evolutivas como as francesas dos séculos 18 e 19, as de Spencer e Haeckel e o estruturalismo de processos, adotam essa perspectiva transformacional, embora em diferentes facetas. As próprias transformações thompsonianas⁴⁶, de que falamos na seção anterior, inspiram explicações transformacionais. É importante perceber que as explicações transformacionais remontam a teorias evolucionistas pré-darwinianas, nas quais não havia preocupação com a problemática da adaptação (Caponi, 2006b). A perspectiva transformacional, portanto, procura por *forças perceptíveis no organismo individual*, que levem a cabo “mudanças simultâneas e conjugadas em todos e em cada um dos componentes do sistema” (Caponi, 2005, p. 234). Em diversos autores, essas forças são de natureza fisiológica:

Apesar de Mayr [...], o verdadeiro eixo de ruptura entre o darwinismo e a biologia precedente não passa pela oposição entre uma perspectiva populacional ou *variacional* e uma perspectiva *tipológica* ou *essencialista*; mas pela oposição entre essa perspectiva populacional e a perspectiva fisiológica que, desde Aristóteles até Cuvier, passando por Lamarck e Geoffroy Saint-Hilaire, regeu as ciências da vida. Segundo esse modo de ver as coisas, a cena privilegiada do fenômeno biológico não podia ser outra do que o próprio organismo; sendo, portanto, no organismo individual, onde, em última instância, deviam

⁴⁶ Embora o nome “teoria das transformações” nos leve imediatamente a pensar que se trata de uma teoria transformacional no sentido de Sober (1984), é preciso ter cautela ao fazer essa vinculação. Aqui, ela é válida apenas coincidentemente.

mostrar-se e registrar-se todos os fenômenos biológicos relevantes. E era isso precisamente que a perspectiva populacional darwiniana deixava de fazer. Desde que foi proposta e respondendo a seus próprios objetivos cognitivos, a explicação seletional darwiniana entendia a evolução como um fenômeno que só podia registrar-se e analisar-se no nível populacional. (Caponi, 2005, p. 236)

Temos, até agora, um contraste entre um modo de pensar e procurar explicar a evolução *no organismo individual* (perspectiva transformacional) e um modo de ver a evolução como um fenômeno irredutivelmente populacional (perspectiva seletional). Mais do que coletivos de organismos, as populações darwinianas são entidades *transgeracionais*, isto é, não podem ser entendidas como uma única geração. As populações darwinianas são *linhagens*, e isso deve ser levado em conta pela explicação seletional. No exemplo do teste de leitura de Sober, esse ponto não fica claro, mas entendê-lo é crucial para que se perceba a diferença radical entre as perspectivas seletional e transformacional. De fato, para que pudéssemos tornar o exemplo de Sober estritamente darwiniano, teríamos de escolher um caractere herdável (e não a habilidade de leitura) e falar em diversas gerações de indivíduos. Teríamos, também, de fazer com que o crivo da seleção se repetisse a cada uma delas, estabelecendo sucesso reprodutivo diferencial entre os indivíduos da população.

Embora haja certa ambigüidade na forma com que Kauffman relata alguns de seus experimentos, nos parece que o exemplo que demos de experimento filogenético com redes booleanas (seção 2.4.3) é suficiente para nos convencer que Kauffman não adota a perspectiva transformacional. A própria ênfase com a qual ele mostra que a auto-organização, agindo sem a seleção natural, não é capaz de dar conta do fenômeno evolutivo reforça nossa posição. Mas essa *perspectiva* seletional não quer dizer que Kauffman adote a *explicação* seletional em seus experimentos. Suspeitamos que o modelo explicativo kauffmaniano esteja mais próximo do que Sober (1984) chamou de *explicação de equilíbrio*.

O paradigma de explicação de equilíbrio é, para Sober, o argumento de Fisher sobre a proporção de 1:1 entre os sexos em uma população (Fisher, 1930, p. 141-3). Fisher demonstrou que uma razão de 1:1 constitui um equilíbrio estável e que, sobre a hipótese de que haja alguma força seletiva agindo na população, nenhuma outra proporção seria estável (Richardson, 1999, p. 447). A explicação de equilíbrio se caracteriza, segundo Sober, pela irrelevância que atribui às causas particulares na geração de um determinado *status quo* (Sober, 1984, p. 140). No exemplo de Fisher, a história causal particular da

população não tem relevância no estabelecimento da proporção de 1:1 entre os sexos; a população pode ter começado com um excesso de machos, um excesso de fêmeas, ou mesmo ter estado desde sempre em equilíbrio.

Note-se que dizer que o fato de as causas particulares não importarem para que aconteça um determinado fenômeno *não implica* que esse fenômeno não tenha uma história causal. Uma história causal para o estado de proporção entre os sexos em uma determinada população *pode ser traçada*, mas pode não ter nenhuma relevância para o fenômeno a ser explicado. Ao contrastar explicação de equilíbrio com explicação causal, Sober está querendo dizer que, na primeira, as causas de um fenômeno *não têm papel algum*, enquanto na segunda são fundamentais. Essa observação é importante para percebermos que a história causal do exemplo de Fisher é de natureza *seleccional*, e não *transformacional*. Em uma das formalizações do modelo (Sober, 1984, p. 55-6), percebe-se claramente a perspectiva *populacional* na escolha das variáveis: fala-se em “custo”, “vantagem”, “investimento”, e o modelo só faz sentido se levarmos em conta mais de duas gerações. O próprio “equilíbrio” de que se fala só pode ser entendido em termos populacionais; não faz sentido falar em uma proporção ou desproporção entre os sexos ocorrendo em um único indivíduo de uma espécie não-hermafrodita.

4.2.3 Kauffman e as bases analíticas da organização

Se, como mencionamos anteriormente, o problema da forma é central para o estruturalismo, então seria estultice pensar que se poderia fazer um programa de pesquisa estruturalista sem ao menos olhar para as formas dos organismos existentes. No entanto, a preocupação pela morfologia só aparece no último capítulo de Kauffman (1993) e, ainda assim, inegavelmente deslocada do restante da obra. Temos duas justificativas para embasar essa interpretação: em primeiro lugar, naquele capítulo, se torna claro que o modelo das redes booleanas não dá conta de explicar a morfologia, por isso Kauffman tem de misturá-lo a modelos como o de reação-difusão de Turing; em segundo lugar, as idéias contidas naquele capítulo nunca são mencionadas nos trabalhos de divulgação de Kauffman (cf. 1995). Quer dizer, talvez o próprio Kauffman as considere marginais em relação aos aspectos mais inovadores de seu projeto.

Entretanto, o próprio Kauffman busca ser vinculado com D’Arcy Thompson, considerado um estruturalista *par excellence*:

O famoso e elegante livro *On Growth and Form* de D’Arcy Thompson permanece como um dos melhores esforços em encontrar aspectos da ordem orgânica que possam ser

entendidos como aspectos que podemos, em boas bases, esperar [*sic*]. A investigação dele, que o levou a considerar superfícies de energia mínima, transformações de sistemas de coordenadas, e toda uma bela pletora de fenômenos, permaneceu como uma fonte persistente para um pequeno gotejar de tradição intelectual que chegou à biologia contemporânea.

Thompson aplicou a física clássica à biologia. [...] Este livro [*Origins of Order*] é um esforço em continuar a tradição de Thompson com o espírito que agora anima partes da física. Ele busca as propriedades genéricas de sistemas complexos. (Kauffman, 1993, p. 643-4)

É importante perceber, em primeiro lugar, que Kauffman reconstrói o objetivo thompsoniano como “encontrar aspectos regulares da *ordem* orgânica”, não da *morfologia*. Mas o fato de que o objetivo primordial de Thompson era a *forma*, e portanto diverge em um sentido crucial do de Kauffman, transparece não só no título de seu livro (Thompson, 1942), mas também pelos modelos, necessariamente *geométricos* (e não lógicos), empregados por ele. Como o próprio Kauffman percebeu, Thompson foi procurar esses modelos em superfícies de energia mínima e sistemas deformados de coordenadas cartesianas. Só podemos dizer que o programa de Kauffman é thompsoniano na medida em que busca descobrir princípios gerais da organização, mas isso é insuficiente para caracterizar Kauffman como um estruturalista. Do contrário, seríamos compelidos a dizer que toda a física da complexidade é estruturalista nesse sentido.

Gould, embora tenha perpetrado a identificação de Kauffman com o estruturalismo que aqui estamos criticando, tem clareza ao mostrar como as bases morfológicas da organização ficam em segundo plano no programa kauffmaniano:

Stuart Kauffman se parece muito com Brian Goodwin. Ambos estão tentando explorar a relevância da grande tradição estruturalista, à qual o darwinismo funcionalista nunca prestou muita atenção. Stuart se diferencia de Brian em que este último se concentra mais na morfologia dos organismos. [...] [Kauffman] [t]enta compreender que aspectos da ordem orgânica se deduzem dos princípios físicos da matéria e da estrutura matemática da natureza, de maneira que não é necessário vê-los como otimizações darwinianas produzidas pela seleção natural. (Gould entrevistado em Brockman, 1996, p. 322)

Chamaremos esses “aspectos da ordem orgânica”, que se deduzem a partir de

“princípios físicos da matéria e da estrutura matemática da natureza”, de *leis analíticas da organização*. Tanto o equilíbrio de Hardy-Weinberg quanto os *resultados* das explicações de equilíbrio são leis analíticas no sentido de que inferem determinadas generalizações por meio da simples *pressuposição* de um determinado estado de coisas (empírico) no mundo. Sober chama esse tipo de generalizações de *a priori*, mas a idéia é bastante similar:

O argumento de Fisher sobre as proporções entre os sexos [...] [pode ser representado] como uma linha de raciocínio em que todas as generalizações são *a priori* e todas as pressuposições empíricas ficam isoladas em afirmações sobre a população particular considerada. [...] Alguma de tais generalizações [*sic*] pode muito bem ser *a priori*, mas é explicativa mesmo assim. [...] A explicação *como um todo* é empírica porque *outros* componentes dela são. (Sober, 1984, p. 79; grifo no original)

Uma explicação desse tipo é uma construção do tipo “se *I* se aplica, então a generalização [se *P*, então *Q*] se aplicará daí em diante” (cf. Sober, 1997, p. S460), onde *I* é um conjunto de hipotético de estados empíricos e [se *P*, então *Q*] é uma lei analítica (ou generalização *a priori*, *sensu* Sober) que se pode deduzir a partir deles⁴⁷. É importante perceber, então, que uma lei analítica é uma generalização que *resulta* da dedução de conseqüências a partir de um determinado conjunto de pressuposições empíricas. Utiliza-se experimentos científicos de simulação computacional para derivar leis analíticas, como faz Kauffman, quando o conjunto hipotético de estados empíricos é muito complexo para ser calculado manualmente⁴⁸.

Uma lei analítica apresenta *necessidade lógica* (ou *matemática*), e não *nômica* (v.

⁴⁷ Sober (1984), que reconstrói a teoria evolutiva como uma teoria de forças, fala ainda de *leis-fonte* e *leis-conseqüência*. Leis-fonte são leis como a da gravitação, que estabelecem as origens das forças. Leis-conseqüência, por sua vez, estabelecem o “que acontece” uma vez que existam as forças originadas pelas leis-fonte. Um exemplo típico de lei-conseqüência é, segundo Sober, $F=m.a$, na medida em que diz o que acontece, dado que uma determinada força exista. As nossas *leis analíticas* são leis-conseqüência, mas deve-se suspeitar que nem todas as leis-conseqüência sejam analíticas.

⁴⁸ Dennett caracteriza as simulações de computador realizadas no campo da inteligência artificial como “experimentos *de pensamento* artificialmente [*prosthethically*] regulados por computador” (1978, p. 117; grifo no original). Para sustentar nosso argumento de que a necessidade de se fazer simulações em computador deriva da complexificação das condições empíricas hipotéticas, Kauffman (entrevistado em Lewin, 1994) relata que preencheu muitos cadernos com suas primeiras redes booleanas. Um comentário importante acerca de simulações computacionais do fenômeno evolutivo é feito por Maynard Smith (1996).

seção 4.1). Quer dizer, a validade de [se P , então Q] é garantida pela lógica ou pela matemática, e não em função de como o mundo é. Em contraste, leis que poderíamos chamar de empíricas ou sintéticas são generalizações do tipo [se P , então Q] verdadeiras em função de constatações *de facto* sobre o mundo. A lei da gravitação dos corpos é uma lei desse tipo, assim como supostamente seriam as “leis da morfologia” procuradas pelos estruturalistas de processos.

As leis da genética de populações de Fisher e Wright são generalizações sobre como a seleção natural age em populações com uma determinada composição, obtidas analiticamente a partir da postulação hipotética de condições empíricas. Nesse sentido, são leis analíticas; e concordamos com Gayon (1997) ao perceber semelhanças entre Fisher e Wright, por um lado, e Kauffman, por outro. Os três pesquisaram analiticamente os limites da seleção natural: Fisher e Wright na estrutura da população, e Kauffman na estrutura lógica do genoma (Gayon, 1997).

Em momento algum, insistimos, Kauffman avança sua abordagem analítica sobre as bases morfológicas da organização. E, se poderia argumentar, mesmo que ele o fizesse, seria de uma forma qualitativamente diferente da abordagem sintética buscada pelo estruturalismo de processos. Tampouco é de inspiração transformacional a escolha das variáveis subjacentes aos experimentos de Kauffman com paisagens adaptativas. Uma paisagem adaptativa é, por definição, uma entidade afim à perspectiva seletional, na medida em que estipula diferenças de aptidão [*fitness*] entre os indivíduos de uma população. Se quisermos dizer que Kauffman adota uma perspectiva transformacional de evolução, teríamos de dizer que o próprio modelo de paisagem adaptativa é transformacionista, e estaríamos incorrendo em uma contradição.

4.3 A tese da contingência e o estatuto das explicações paleobiológicas

Apesar do título desta seção, não pretendemos aqui exaustar as implicações da tese da contingência para o estatuto epistemológico das explicações em paleobiologia. Aliás, nossa discussão se concentrará no modelo narrativo de explicação que, se houver pluralismo explicativo em paleobiologia (Grantham, 1999), é apenas uma parte da prática efetiva da comunidade de paleobiólogos. Inicialmente, retraçaremos o argumento de Gould a partir de um outro ângulo, examinando a relação entre explicação e predição em ciência.

4.3.1 *A tese da simetria entre explicação e predição*

Saber explicar um fenômeno dá condições ao cientista de prever outros fenômenos do mesmo tipo? E, reciprocamente, a capacidade de predição fornece também a explicação de um determinado tipo de fenômeno? A posição que defende que explicação e predição andam sempre juntas é chamada de *tese da simetria entre explicação e predição* (doravante *tese da simetria*). Claramente, há casos em que um fenômeno pode ser previsto, mas as condições em que a previsão ocorre não fornecem bases para seu entendimento. Para ilustrar esse ponto, Stephen Toulmin (1961, p. 27-32) contrasta a astronomia babilônica com a jônica: a primeira conseguia prever eventos com relativa precisão, embora estivesse embasada em alguns cálculos aritméticos que não tinham objetivo explicativo; a astronomia jônica, por outro lado, enquanto tinha capacidade preditiva praticamente nula, se preocupava em elaborar modelos explicativos para os fenômenos observados.

Nas ciências em que não predomina o modelo nomológico-dedutivo de explicação, grupo do qual a biologia faz parte, é particularmente claro que a explicação cumpre um papel mais importante que a predição. Em algumas explicações biológicas, por exemplo, pode-se estipular condições necessárias (mas não suficientes) para um determinado efeito, e nem por isso tais explicações são consideradas inválidas (Hull, 1975, p. 132-3). De fato, o modelo nomológico-dedutivo parece exigir que as condições iniciais sejam suficientes⁴⁹: seria suficiente que houvesse uma inversão do sentido de rotação da Terra para que ocorresse um *tsunami*. Se tivéssemos constatado que tivessem ocorrido diversos *tsunamis* nos oceanos terrestres (*explanandum*), e percebêssemos uma inversão na rotação da Terra (condições iniciais), teríamos à mão todos os recursos para fazer uma explicação hempeliana clássica do *tsunami*. No entanto, como bem sabemos, dificilmente seria necessária uma inversão do sentido de rotação da Terra para que se produza um *tsunami*, e explicar sua ocorrência sem o apelo a condições suficientes é satisfatório.

Vimos, no capítulo anterior, que Gould usa a impossibilidade de se fazer predições acuradas em biologia evolutiva como ponto de partida para dizer que há algo de errado com o modelo explicativo do neodarwinismo. Como procuramos mostrar pelos exemplos acima, é errado pensar que haja qualquer correspondência *de jure* entre o

⁴⁹ Ou separadamente necessárias e conjuntamente suficientes; de qualquer forma, essa leitura é de Hull (1975).

poder explicativo e o preditivo em um determinado modelo. Além do mais, seria ingênuo negar a legitimidade de determinadas previsões de alcance restrito (espaço-temporalmente) feitas em algumas áreas da biologia evolutiva. A tese da contingência deve ser lida como a afirmação de que o modelo neodarwiniano é inválido para a *paleobiologia*, mas não para todas as subdisciplinas da biologia evolutiva.

4.3.2 *A explicação narrativa nas ciências históricas*

Parece ser um truismo dizer que, “se um evento ocorreu, então todas as condições necessárias para ele devem também ter ocorrido” (Scriven, ano *apud* Hull, 1975, p. 137). Mas é precisamente essa constatação que fornece um dos nexos para que consideremos que as narrações históricas tenham algum poder explicativo. Por exemplo, embora a sífilis primária seja apenas uma condição necessária, mas não suficiente, para que ocorra a paralisia (sífilis terciária), nos satisfazemos com a explicação de que Henrique VII teve paralisia porque havia contraído sífilis. Em uma interpretação estrita do modelo nomológico-dedutivo, por outro lado, essa explicação é tão informativa quanto “Por que Henrique VII morreu? Porque havia nascido” (Hull, 1975, p. 133). A história poderia almejar, nessa perspectiva, no máximo “esboços explicativos” (v. capítulo IX de Hempel, 1979 [1965]).

Conforme se pode evidenciar pelos trechos citados no capítulo 3, certamente Gould discordaria dessa posição. O argumento de Gould era o de que os fenômenos biológicos apresentam uma unicidade [*uniqueness*] tal que é impraticável construirmos leis a respeito deles. Sugerimos que essa unicidade poderia estar pautada em uma *complexidade histórica*, que deriva da noção de causa histórica de G. G. Simpson (v. seção 3.3.1). Um trecho de Sober nos permite entender como a aparente ausência de leis em paleobiologia pode ser compatível com outros ramos da biologia evolutiva mais claramente nomológicos.

Sober (1993, p. 14-5) sublinha que cada grande disciplina (como a física ou a biologia) tem subáreas que enfatizam ou a busca por leis gerais ou a descoberta das particularidades históricas dos eventos. No domínio da física, por exemplo, um físico de partículas está mais interessado em descobrir leis, enquanto um astrônomo busca descobrir particularidades sobre um determinado objeto único (uma determinada galáxia, por exemplo). O que distingue os trabalhos do astrônomo daqueles do físico de partículas é a ênfase relativa que cada um deles dá às leis: o astrônomo as usa como *meios* para inferir as propriedades de um objeto particular, enquanto para o físico de

partículas elas são os *fits* da investigação. Reciprocamente, os detalhes particulares somente interessam ao físico de partículas na medida em que servem para a inferência de leis.

Que a paleobiologia seja uma ciência histórica nos parece óbvio a essa altura, mas se ela pode prescindir de leis e de explicações nomológico-dedutivas, qual o modelo explicativo que adota? Examinemos primeiramente como Gould caracteriza a explicação histórica:

*As explicações históricas assumem a forma de uma narrativa: E, o fenômeno a ser explicado, manifestou-se porque D ocorreu antes, precedido por C, B e A. Se qualquer dessas etapas iniciais não tivesse acontecido, ou tivesse decorrido de uma outra maneira, então E não teria existido (ou teria se apresentado de uma forma substancialmente modificada, E', exigindo uma explicação diferente). [...] Não estou falando de acaso (pois E tinha de ocorrer, como consequência de A a D), mas do princípio central de toda a história – a *contingência* [grifo no original]. A explicação histórica não se baseia em deduções diretas das leis da natureza, mas numa seqüência imprevisível de estados antecedentes onde qualquer grande alteração em qualquer etapa da seqüência teria modificado o resultado final. Este resultado final, portanto, depende ou está na contingência de tudo o que aconteceu antes – a indelével e determinante assinatura da história. (Gould, 1990, p. 328-9; grifo nosso, exceto onde especificado.)*

Mas as explicações históricas têm uma característica que Gould não mencionou: a possibilidade de construção de narrativas alternativas para a explicação de um mesmo fenômeno. Não estamos falando que o historiador precise mostrar (como exige Sober, 1984) porque ocorreu E e não E' – isto parece estar implícito na exposição de Gould. Queremos dizer que um segundo historiador poderia atribuir, a um outro conjunto de eventos, digamos (A₁, B₁, C₁, D₁), maior relevância para a ocorrência do *próprio evento E* (e não de E'). Uma observação similar é feita por Hull:

Mas ainda assim [isto é, ainda que sigam leis físicas bem conhecidas], dadas as teorias admitidas e a evidência disponível, nem a história do universo nem a da Terra estão univocamente determinadas. Existe ainda algum espaço para as reconstruções alternativas. A capacidade de resolução da teoria da evolução é ainda mais fraca. A teoria da evolução simplesmente estabelece restrições muito gerais sobre o desenvolvimento filogenético possível, tão gerais que são de pouca ajuda para os paleontólogos ao reconstruir seqüências filogenéticas. Para colocar as coisas de maneira simples, as teorias científicas nos dizem o que pode acontecer. Dentro desses limites, *certas regras*

adicionais ajudam os historiadores a decidir o que realmente ocorreu. (Hull, 1998, p. 262; grifo nosso.)

Então, existe um conjunto de regras metodológicas que pautam a escolha de um determinado conjunto de causas que são, no mínimo, necessárias para a ocorrência de um evento histórico⁵⁰. Nas reconstruções filogenéticas, essas regras são bastante explícitas: deve-se, por exemplo, postular grupos monofiléticos com parcimônia, dada a probabilidade de que grandes invenções evolutivas sejam únicas (Sober, 1988; Caponi, 2004a). De qualquer maneira, mesmo essas regras metodológicas que auxiliam as ciências históricas são *meios*, e não *fins*.

O ponto importante é que a reconstrução narrativa de um evento histórico só faz sentido a partir da tomada de uma perspectiva. A finalidade de uma reconstrução histórica é, trivialmente, mostrar como aquele evento aconteceu. Mas, conforme salienta Hull (1998), a escolha de um determinado evento ou indivíduo⁵¹ como *tema* ou *sujeito central* de uma narrativa é uma tomada de perspectiva, e tem duas conseqüências importantes.

A primeira delas é que os eventos relevantes, dentro da narrativa, passam a ter *unicidade necessária*. Um evento como a eleição de um papa irlandês é único, mas não necessariamente único, pois pode ocorrer mais de uma vez. Esse tipo de evento pode ser membro de uma classe, de tal modo que se poderia formular leis sobre ela (“sempre que um papa irlandês for eleito...”). A eleição do *primeiro* papa irlandês, por outro lado, é um evento necessariamente único, e não pode ser o sujeito de leis (Hull, 1975). A narrativa histórica, ao focar um indivíduo ou evento, faz com que ele tenha unicidade necessária, e que as classes às quais ele possa pertencer tenham pouca relevância para a narrativa (e, portanto, leis ou generalizações a respeito dele também se tornam pouco ou nada relevantes). Uma história da travessia do Rubicão feita por César coloca o evento em uma posição tal que ele é necessariamente único (não poderia haver um outro César cruzando um outro Rubicão, ao mesmo tempo), e que leis sobre classes (“indivíduos cruzando rios”, etc.) às quais ele possa pertencer apresentam pouca ou nenhuma

⁵⁰ Nesse tipo de explicação parece implícita a informação sobre porque ocorreu *este* e não *outro* fenômeno.

⁵¹ Aqui, “indivíduo” pode ser uma espécie biológica. Com a publicação de *O Triunfo do Método Darwiniano* por Michael Ghiselin (1983 [1966]), se tornou praticamente um consenso em filosofia da biologia o fato de que as espécies biológicas são indivíduos, e não classes naturais.

relevância para a narrativa⁵² (Hull, 1998).

A segunda conseqüência é que a narrativa passa a configurar uma relação parte-todo que ocupa um papel análogo à relação “condições particulares-leis” na explicação nomológico-dedutiva. Esse é, segundo Hull, o grande motivo pelo qual devemos conceder que as narrativas têm poder explicativo:

Nas narrações históricas, um acontecimento não se explica subsumindo-o a uma generalização. Em câmbio, se explica integrando-o em uma totalidade organizada [a narrativa]. (Hull, 1998, p. 271)

E, indo ao socorro de Gould, Hull afirma ainda que “[a] integração de um elemento dentro de um padrão abarcador pode produzir tanta satisfação intelectual quanto a subsunção de uma particularidade sob uma lei científica, e às vezes mais” (1998, p. 272). Em paleobiologia, esse tipo de enquadramento ocorre em uma narrativa quando, por exemplo, é encontrado o fóssil de um “elo perdido” que dá fechamento a uma história filogenética anteriormente incompleta. Ironicamente, Conway Morris, o adversário de Gould na polêmica sobre a significância da fauna de Burgess, talvez tenha sido capaz de dar maior satisfação intelectual à comunidade paleobiológica do que o próprio Gould, ao mostrar que os filos do Cambriano que tinham aparentemente se extinguido são, na verdade, ancestrais de alguns dos filos modernos (Conway Morris, 1998).

De qualquer forma, nesta seção procuramos mostrar, em primeiro lugar, que a paleobiologia, enquanto ciência histórica, se utiliza tanto de leis e generalizações biológicas quanto de regras metodológicas como *meios* para alcançar o *fim* de construir narrativas sobre a história da vida. Em segundo lugar, concordamos com Hull ao dizer que essas narrativas só são explicativas na medida em que estabelecem uma relação parte-todo entre o sujeito central e a narrativa em si. Esperamos ter estabelecido, assim, um lugar para a paleobiologia que seja coerente com o restante da biologia evolutiva.

⁵² Mais uma vez, note-se que isso não exclui a possibilidade de que os sujeitos centrais das narrativas sejam exemplos de generalizações significativas (e mesmo leis) que possam ser feitas a respeito deles. Os pesos de chumbo utilizados por Galileu, enquanto poderiam ser assunto de uma história do instrumental utilizado por cientistas famosos, não deixaram de obedecer às leis que o próprio Galileu estava descobrindo.

4.4 A tese da contingência frente à tese da auto-organização

No início de nossa investigação, nos propusemos a analisar a tese da contingência e a tese da auto-organização diante da distinção, proposta por Gayon (1997), entre críticas ao poder explicativo do princípio de seleção natural e críticas ao poder causal da seleção natural na produção de adaptações. Para que possamos fazer uma comparação entre as duas teses, e querendo ser fiéis a essa distinção inicial, temos de averiguar o que Kauffman tem a dizer a respeito da explicação em biologia (seção 4.4.1). Por sua vez, uma investigação sobre o que a tese da contingência tem a dizer a respeito do papel causal da seleção natural pode parecer, a princípio, descabida. Afinal, temos boas razões para crer que a tese da contingência toma como garantido o poder causal da seleção natural (v. capítulo 3). Mas, se deixássemos de lado a pergunta sobre as implicações causais da tese da contingência, perderíamos a oportunidade de ressaltar o fato de que a tese da auto-organização *não é incompatível* com a visão de que a seleção natural é a causa da adaptação. Embora a diferença entre externalismo e internalismo (seção 4.4.2) que postularemos será, de certa forma, concebida sob medida para a presente discussão, cremos que esclarecerá em que sentidos as duas teses são compatíveis entre si.

4.4.1 O ahistoricismo explicativo de Kauffman

Conforme vimos na seção 2.3, o modelo de explicação em biologia, para Kauffman, é a *explicação por articulação de partes*. A explicação por articulação de partes começa com a descrição de um comportamento do sistema biológico que se queira explicar. Em seguida, elabora-se um *modelo cibernético* que atenda a essa descrição. O modelo cibernético permite que nele se postulem processos causais simbólicos, que produzem comportamentos simbólicos. Se houver isomorfismo entre o modelo cibernético e o sistema real, esses processos causais podem ser posteriormente mapeados no sistema real.

Por outro lado, dissemos anteriormente (seção 4.2) que Kauffman realizava uma abordagem *ahistórica* do problema da organização, e nesse ponto se aproximava do estruturalismo de processos. De todas as conotações que empregamos para o termo *ahistoricismo* (“ignorância de relações filogenéticas” e “apoio em leis irrestritas espaço-temporalmente”), queremos estabelecer um uso definitivo para a presente investigação: *ahistoricismo explicativo*, que definiremos como *a despreocupação sobre as histórias causais particulares dos fenômenos que se deseja explicar*. Precisamente nesse sentido, as explicações de equilíbrio, bem como algumas leis analíticas, são ahistóricas.

Aparentemente, nossa interpretação é contraditória, porque estamos dizendo que Kauffman defende um modelo explicativo ao mesmo tempo *interessado* por processos causais e *desinteressado* por histórias causais particulares. Porém, é preciso perceber que os fenômenos para os quais Kauffman propõe o modelo de explicação por articulação de partes são relativamente repetíveis: a agregação celular em poríferos e a formação do nódulo de Hensen no embrião são os exemplos dados por ele (Kauffman, 1998 [1970]). São fenômenos que atribuiríamos ao domínio da biologia funcional e, portanto, envolvem *causas próximas* (Mayr, 1998; v. seção 1.1).

Quando aplicamos a explicação por articulação de partes à biologia evolutiva, corremos o risco de incorrer em uma perspectiva transformacional da evolução. Na seção 2.3, interpretamos o “modelo cibernético” de Kauffman como um instrumento para o descobrimento de causas suficientes dos fenômenos. Essa interpretação é coerente com o fato de que, inicialmente, Kauffman parecia defender a suficiência da auto-organização como causa da adaptação. Mas, alertado por John Maynard Smith a não cair na armadilha transformacional, Kauffman logo reconheceu que a auto-organização é incapaz de gerar adaptações por si só (cf. entrevista em Lewin, 1994, p. 58-59). Por definição, uma adaptação é o resultado da ação de pressões seletivas que geram uma diferença de sucesso reprodutivo entre os indivíduos de uma população. Sendo a adaptação um fenômeno contingente sobre uma pressão seletiva, não há como explicar a adaptação *in abstracto*, desprezando-se as particularidades históricas de uma população e tratando-a por meio de leis analíticas.

Então, para sermos mais precisos, temos que qualificar o ahistoricismo explicativo de Kauffman como um *ahistoricismo explicativo de causas remotas*, isto é, há um desinteresse da parte de Kauffman em incluir causas remotas nas explicações. Por isso, quando tratam de fenômenos populacionais, as explicações de Kauffman são semelhantes às explicações de equilíbrio.

Mas é possível ignorarmos as causas remotas em explicações de equilíbrio? Considerando que causas remotas são fatores como pressões seletivas, conforme procuramos mostrar na seção 4.2.2, uma explicação de equilíbrio dispensa a história de causas remotas para explicar o estado atual de uma população. Se, por outro lado, considerarmos a minimização do gasto energético na criação de um filhote⁵³ como uma causa remota na determinação do equilíbrio sexual de uma população, então mesmo as

⁵³ Esse é um ponto considerado no argumento de Fisher (1930).

explicações de equilíbrio não podem prescindir do apelo às causas remotas. Estamos inclinados a dar uma resposta da primeira forma, que tem a importante implicação de que *nem toda explicação de fundo seletional tem de apelar a causas remotas*, porém uma argumentação mais detalhada poderá ser assunto de outra investigação.

Se entendermos as pressões seletivas como o único tipo de causas remotas, então Gould concordaria com Kauffman em dizer que as causas remotas não são de suma importância para a explicação em biologia. Entretanto, ao contrário de Kauffman, essa afirmação levou Gould a adotar um *contingentismo*⁵⁴ *explicativo*, entendido como *a crença de que não se pode explicar satisfatoriamente os fenômenos sem apelar à sua história causal particular*. E a história causal particular de uma população biológica, nos diria Gould, não é descrita somente pelas causas remotas das adaptações perceptíveis nessa população. A história causal particular de uma população é o conjunto de causas remotas e causas históricas (*sensu* G. G. Simpson), como os eventos contingentes de que fala Gould.

Kauffman acredita que a biologia deve fazer “algo mais” além da “análise sistemática das máquinas basicamente acidentais e suas histórias evolutivas basicamente acidentais” (entrevista em Lewin, 1994, p. 59). Maynard Smith, por sua vez, vê tanto em Kauffman quanto em Gould essa preocupação por ultrapassar os limites da contingência: “[e]les [Gould e Kauffman] parecem dizer: se não houver verdades universais, como se poderá fazer ciência?” (entrevista em Lewin, 1994, p. 59). Mas essa aproximação passa por cima da importante divergência entre Gould e Kauffman a respeito do papel das particularidades históricas na explicação biológica.

Gould diria que os princípios descobertos por Kauffman são demasiadamente gerais frente aos detalhes que nos interessam; eles não nos explicam por que existem caranguejos e caramujos (cf. citação na seção 3.3.1). Esse ponto crucial, que nos permite evidenciar uma vez mais a ausência de preocupação pelas bases materiais da organização, é desenvolvido por Burian e Richardson:

A abordagem de Kauffman, grosso modo, não pretende responder perguntas sobre contingências históricas e está mal equipada para fazê-lo. Assim, seu trabalho fala sobre a distribuição estatística dos padrões em uma radiação evolutiva, mas diz quase nada a respeito de quais organismos ou linhagens cumprirão algum papel [...] em uma radiação.

⁵⁴ Cabe ressaltar que contingentismo, aqui, não se refere à doutrina filosófica francesa homônima do século 19 (cf. Chaline, 2006, p. 374).

Os resultados de Kauffman estão mais baseados em regras abstratas da combinação do que nos detalhes da química ou da biologia. Como tais, podem fornecer, por exemplo, a arquitetura esperada das redes genéticas, os padrões prováveis de diferenciação de linhagens celulares, ou os padrões prováveis de ramificação de árvores evolutivas, mas não as funções particulares de, ou conexões entre, genes particulares, tipos de células que aparecerão em linhagens particulares, ou a árvore provável para um grupo monofilético particular. (Burian e Richardson, 1996, p. 165-6)

Os “padrões de radiação evolutiva” a que se referem Burian e Richardson são abordados por Kauffman em uma explicação da explosão Cambriana (1993, p. 77-83). O fato é que, estritamente falando, a explicação de Kauffman não se refere à explosão Cambriana *em particular*, isto é, tal como aconteceu na Terra. O objetivo de Kauffman é explicar eventos *do tipo* explosão Cambriana, mostrando como seus resultados com redes booleanas em paisagens adaptativas, em conjunto com considerações a respeito da distribuição de probabilidade de mudanças no desenvolvimento, sugerem um padrão evolutivo em que os *taxa* superiores (filos, classes) são ocupados antes. Não encontramos nenhum detalhe a respeito da fauna que tanto intrigou Gould e os paleobiólogos.

Na medida em que faz uso de leis analíticas, não seria absurdo chamar o modelo explicativo kauffmaniano de *explicação analítica*. A explicação analítica contrasta com a explicação causal por não apelar a uma história causal particular para explicar um fenômeno. Hesitamos em chamá-la, como faz Sober (1984), de explicação de equilíbrio, porque nem toda explicação analítica postula um sistema em equilíbrio. A explicação analítica se aproxima de uma concepção de explicação científica centrada na busca de um sistema de leis capaz de descrever um conjunto de sistemas da maneira mais econômica possível (cf. Richardson, 1999 e o exemplo de Salmon, 1989 *apud* Richardson, 2001).

Buscar compreender as condições que tornam possível o fenômeno adaptativo, como faz Kauffman, é adotar uma abordagem complementar ao neodarwinismo, aliás, complementar à própria definição de seleção natural enquanto produtora de adaptações. Ao dizermos que a argila tem de ser necessariamente plástica para moldarmos objetos com ela, não estamos negando o papel causal do trabalho do oleiro na produção de um vaso de argila em particular. Da mesma forma, se dissermos que um determinado sistema tem de ser necessariamente auto-organizado para que a seleção natural atue sobre ele, não estamos dizendo que a auto-organização é a causa da adaptação.

4.4.2 *O contingetismo causal de Gould*

Se concedermos que explicar um fenômeno é apontar suas causas, estamos autorizados a pensar que o contingetismo explicativo de Gould se reflete em um *contingetismo causal*. Além da idéia bastante intuitiva de que eventos contingentes podem ser a causa de fenômenos evolutivos, o contingetismo causal implica que a tese da contingência é, em um sentido que iremos definir, *externalista*. Antes de qualquer coisa, veremos como esse termo é usado em um sentido mais usual, conforme exposto por Azkonobieta (2005).

Externalismo é um nome freqüentemente dado a concepções da evolução que se aproximam da visão aceita. O atomismo de estruturas adaptativas⁵⁵, a ênfase na seleção natural, a concepção de evolução como mudança nas freqüências gênicas, entre outras, são características da visão externalista. Em contraposição, o holismo de estruturas adaptativas, a ênfase na auto-organização, e a concepção de evolução como mudança fenotípica, são visões freqüentemente associadas ao *internalismo* (Azkonobieta, 2005). Poderíamos ainda acrescentar ao externalismo todas as características afeitas à perspectiva seletiva (p. ex., o foco na população), e ao internalismo, aquelas da perspectiva transformacional (p. ex., o foco no organismo individual).

Diante desse quadro, seria bastante tentador conceber a tese da auto-organização como internalista (de fato, é o que faz Azkonobieta, 2005) e a tese da contingência como externalista. A discussão que viemos tecendo, contudo, nos mostrou que cada uma das duas teses tem suas próprias características, de definição bastante complexa, que fogem a uma rotulação simplista. De certa forma, as duas teses são críticas à visão externalista, nos termos que viemos sublinhando: a auto-organização como crítica ao poder causal da seleção natural e a contingência como crítica ao poder explicativo do princípio de seleção natural.

Mesmo assim, cremos que a distinção externalismo/internalismo permitirá fazer um último e importante esclarecimento, desde que a reformulemos nos nossos próprios termos. Definiremos externalismo como a visão de que as adaptações são *contingentes* sobre pressões seletivas. Uma implicação importante é a de que as convergências

⁵⁵ Com “atomismo”, nos referimos à idéia de que há relativa independência entre estruturas adaptativas (uma das características do adaptacionismo). Holismo seria a tese contrária, bastante sublinhada pelos estruturalistas. Essas são nossas interpretações; Azkonobieta usa esses termos em um sentido mais geral (cf. 2005, p. 24-5).

evolutivas, *se existirem* (v. seção 3.3.3), são resultantes de semelhanças entre as pressões seletivas sob as quais as duas estruturas convergentes evoluíram. Internalismo, na nossa acepção, seria a já mencionada idéia de que a auto-organização é uma condição de possibilidade da adaptação. As convergências, nessa visão, ocorrem de tal maneira que não são contingentes sobre semelhanças entre pressões seletivas, mas resultado de uma semelhança entre os processos auto-organizantes que estabelecem a possibilidade da geração das duas estruturas convergentes.

Nesses termos, pensamos que seja possível caracterizar a tese da contingência como externalista e a tese da auto-organização como internalista. Estamos cientes, por um lado, de que a obra de Gould como um todo deve ser considerada pluralista. Por outro lado, do ponto de vista filosófico, devemos dizer que esse pluralismo é justificado porque externalismo e internalismo não são incompatíveis entre si. Nenhum dos dois nega que a seleção natural seja a causa da adaptação. Mencionamos as implicações de cada uma das visões para uma teoria da convergência porque assim se torna evidente que a questão sobre a causa da convergência é empírica. Mesmo assim, acreditamos que o peso dado a cada um dos fatores – auto-organização ou pressões seletivas – seria reflexo da escolha de um modelo explicativo. A explicação analítica privilegiaria a auto-organização e a explicação contingente, as pressões seletivas. Mas, conforme vimos salientando, tampouco são esses dois modelos explicativos incompatíveis entre si.

5 CONCLUSÃO

O delineamento de nossa problemática começou com a constatação de certa dualidade entre os aspectos nomológico e contingente da história da vida. Ao distinguirmos a biologia funcional da biologia evolutiva, dissemos que uma investigação sobre a dualidade nomologia-contingência só faria sentido no contexto da biologia evolutiva. Uma das razões é que somente ela, em particular na paleobiologia, estuda a história da vida em uma escala e em um quadro ontológico que permite o tratamento científico da contingência. Além disso, a biologia evolutiva é orientada pela regularidade estritamente biológica que mais se aproxima do que se poderia chamar de lei, a seleção natural.

Conforme relatamos, de maneira breve, o percurso histórico da biologia evolutiva como uma tradição de pesquisa, percebemos a instauração de dois conjuntos de pressupostos que remontam a Darwin. O primeiro deles, os três princípios darwinianos, são uma leitura de Gould sobre o nível, o poder e o escopo da ação da seleção natural em Darwin; o segundo é a chamada *visão aceita* proposta por Sterelny e Griffiths. Dissemos que os princípios darwinianos se incluem na *visão aceita* e, em conjunto, os dois ocupam o vértice funcionalista do *triângulo aptativo* proposto por Gould. Nosso objetivo foi, então, tomar uma abordagem que supostamente pertence ao vértice estrutural (a tese da auto-organização) e uma reconhecidamente histórica (a tese da contingência) e verificar como elas se relacionavam com o vértice funcional. Nesse sentido, a tese da auto-organização pode ser apresentada como um questionamento do *poder causal da seleção natural* e a tese da contingência como uma crítica ao *poder explicativo do princípio de seleção natural*. Os objetivos subsidiários foram verificar se Kauffman poderia ser considerado um estruturalista e analisar o modelo explicativo proposto por Gould para a paleobiologia. Por fim, nos propomos a comparar as duas teses entre si.

No capítulo 2, expusemos resumidamente alguns dos resultados de Kauffman e discutimos como a tese da auto-organização se relaciona com a *visão aceita*. Dentre

diversas alternativas de interpretação, dissemos que a auto-organização figura entre as condições de possibilidade do fenômeno adaptativo. Rejeitamos as visões mais radicais que querem fazer da auto-organização a única força motriz da evolução, porque esse tipo de interpretação tem dois problemas fundamentais. Em primeiro lugar, vimos que, apelando-se somente à propriedade de auto-organização, não é possível explicar os aspectos morfológicos da evolução. Em segundo lugar, dizer que a auto-organização é a única força evolutiva seria ignorar o papel de outras forças (mutação, migração, deriva) no direcionamento da evolução. Conforme vimos, entretanto, Kauffman dá certa atenção a esses fatores e, por isso, podemos dizer que ele não pretende afirmar que a auto-organização seja a única força evolutiva.

Rejeitamos também teses mais sutis, em particular as idéias de que a auto-organização é auxiliar da seleção natural na causa de mudanças evolutivas e de que a auto-organização e a seleção natural são dois aspectos de um único processo evolutivo. Para que esse tipo de tese pudesse ser defendido, auto-organização e seleção natural teriam que estar em um mesmo nível do discurso biológico. Mas a seleção natural é uma força contingente que opera sobre a variação; a auto-organização, por sua vez, é uma propriedade comum a todos os seres vivos e, portanto, não pode ser objeto da seleção natural. Uma objeção que poderíamos levantar para essa última afirmação seria a de que se pode estabelecer diferentes graus de competência com a qual um organismo realiza a auto-organização e, assim, diferenças de sucesso reprodutivo.

Entender esses graus de auto-organização como graus de hereditariedade, ao mesmo tempo em que nos livra dessa objeção, nos permite entender em que sentido auto-organização e seleção natural estão em dois níveis diferentes. A seleção natural só ocorre, nos diz Kauffman, em condições ótimas de hereditariedade, e essas condições são preservadas pela seleção natural. A primeira parte dessa afirmação evidencia que a auto-organização é uma condição de possibilidade da seleção natural e, portanto, não lhe tira o papel causal na produção dos fenômenos adaptativos. Assim, auto-organização e seleção natural não competem entre si, nem mesmo se auxiliam mutuamente, porque não estão no mesmo nível. A auto-organização estabelece condições ótimas de hereditariedade e é, por isso, anterior à seleção natural.

Que a seleção natural preserve as condições ótimas de hereditariedade, por outro lado, é uma afirmativa mais controversa. Suspeitamos fortemente que as formas alternativas, e menos eficazes, de hereditariedade, não sejam eliminadas pela ação direta da seleção natural. Pode ser que, nesse caso, opere uma forma de seleção negativa, ou

uma forma de exclusão competitiva. Talvez a própria natureza combinatória da ocupação de picos adaptativos otimize as condições de hereditariedade. De qualquer forma, gostaríamos de sugerir que a manutenção de formas ótimas de hereditariedade se dê por algum processo qualitativamente diferente da seleção natural.

No capítulo 3, examinamos a tese da contingência e sua relação com a visão aceita, caracterizando a idéia de Gould como um argumento contra o uniformitarismo (e em favor do catastrofismo) em biologia evolutiva. Nos escritos relacionados à tese da contingência, Gould alega que o quadro darwiniano (e mesmo neodarwiniano) clássico não dá conta de explicar os detalhes da história da vida que tanto fascinam os paleobiólogos. Assim, Gould se posiciona claramente contra a adequação do *modelo explicativo* da visão aceita (ou seja, explicações baseadas no princípio de seleção natural), argumentando que tal modelo não leva em conta a natureza contingente do processo evolutivo. Há a possibilidade, nos diz Gould, de que uma simples extrapolação das regras microevolutivas na determinação dos padrões macroevolutivos seja frustrada, porque no nível macroevolutivo as contingências imperam.

Esse argumento, no entanto, não é suficientemente forte para impedir que o modelo explicativo da visão aceita seja usado com sucesso no nível microevolutivo. Além disso, Gould parece deixar de reconhecer que certo grau de contingência é intrínseco a qualquer discurso sobre um processo adaptativo. A crítica de Gould faria mais sentido se fosse possível apresentar o princípio de seleção natural como um princípio nomológico no sentido forte, e se o extrapolacionismo fizesse justamente isso. Mas, conforme vimos, nem mesmo Kauffman, um partidário da abordagem nomológica em biologia, está interessado em retratar o fenômeno de seleção natural como ahistórico.

Vimos também como Gould argumenta contra a abordagem nomológica para a biologia, apoiado em uma análise da lei de Dollo. Embora acreditemos que a aversão a leis biológicas da parte de Gould seja infundada, concordamos com ele no sentido de que a complexidade histórica dos fenômenos biológicos torna as leis biológicas necessariamente restritas espaço-temporalmente. Mas a filosofia contemporânea da física tende a argumentar que esse é o caso até mesmo para as leis físicas (Cartwright, 1999; Giere, 1999).

Outros três temas menores concluem o tratamento que demos à tese da contingência no capítulo 3. Em primeiro lugar, nos reportamos à idéia de Gould de que, durante uma extinção em massa, funcionariam “regras diferentes”, não-darwinianas. Concordamos com Sterelny e Griffiths em dizer que essas regras são darwinianas, mas seu

comportamento atípico decorre das características inusitadas que o ambiente adquire durante uma contingência. Por isso estamos livres de dizer que a tese da contingência questiona o papel causal da seleção natural, não só como causa do fenômeno adaptativo, mas também como causa, em última instância, das extinções em massa. Apoiamos, em segundo lugar, a releitura que Sterelny e Griffiths fazem da tese da contingência como a afirmação de que a história da vida não apresenta resiliência contrafactual. Assim, percebemos como essa tese dificilmente pode ser testada empiricamente, e tem sobretons epistemológicos. Por último, criticamos a interpretação de Dennett de que a tese da contingência é um argumento contra a natureza algorítmica do processo evolutivo. Se assim fosse, Gould jamais falaria em “regras”, darwinianas ou não, para descrever o processo evolutivo.

Discutimos, no capítulo 4, algumas implicações epistemológicas mais gerais da tese da contingência e da tese da auto-organização. Uma apresentação do problema clássico das leis em biologia nos serviu de ponto de partida para uma análise do tipo de leis biológicas reivindicado pelo estruturalismo de processos. Defendemos que, ao contrário do que sugere Gould, Kauffman não deve ser considerado um estruturalista, porque os estudos kauffmanianos sobre auto-organização deixam de lado duas importantes características estruturalistas: a preocupação pelas *bases materiais* da organização e a concepção transformacional da evolução. Permanece a questão sobre se a biologia evolutiva do desenvolvimento (evo-devo) é uma forma de estruturalismo; se for, podemos adiantar que é atípica, na medida em que defende uma perspectiva seletional da evolução. Dissemos, por fim, que Kauffman está interessado em estudar as *bases analíticas* da organização, isto é, as características bastante gerais de sistemas auto-organizantes que possam ser estudadas por *leis analíticas*.

A tese da contingência defende um modelo narrativo de explicação para a paleobiologia. Inicialmente, comentamos como essa defesa se apóia em uma crítica do poder explicativo da visão aceita, crítica esta que se baseia na pressuposição da *tese da simetria* entre explicação e predição. Em seguida, discorremos sobre algumas características do modelo narrativo proposto por Gould. Segundo Hull, em uma narração, a relação parte-todo toma o lugar da relação “circunstâncias particulares-leis gerais” do modelo nomológico-dedutivo.

A última parte da discussão foi dedicada a uma comparação entre as duas teses, na qual tentamos mostrar que Gould e Kauffman divergem quanto à natureza da explicação em biologia evolutiva. Talvez os dois concordem que a explicação evolutiva tem de

apelar a algo mais do que causas remotas, mas esse “algo mais” parece ser equivalente às leis analíticas da organização, no caso de Kauffman, e à história contingente dos grupos taxonômicos, no caso de Gould. Essas considerações foram feitas a partir de uma derivação das conseqüências explicativas da abordagem kauffmaniana, que chamamos de *ahistoricismo explicativo*.

Reciprocamente, propusemos que a tese da contingência estaria defendendo um *contingentismo causal* que, na verdade, em nada difere da idéia, própria à visão aceita, de que a seleção natural tem o poder causal na geração do fenômeno adaptativo. Como tal, a tese da contingência só afronta a visão aceita no nível explicativo; ainda assim, diante das ressalvas que fizemos, tal afronta não exige revisões na teoria evolutiva. Mas, para perseguir com critério nossa comparação entre os dois autores, estipulamos a distinção entre *externalismo* e *internalismo* como chave para entender os aspectos causais da seleção natural.

Para os efeitos dessa comparação, definimos *externalismo* como a afirmação de que as adaptações são contingentes sobre as pressões seletivas que as geraram, e *internalismo* como a aceitação da existência de uma propriedade interna aos organismos, a auto-organização, que é a condição de possibilidade da adaptação. Colocados nesses termos, fica claro que externalismo e internalismo não são mutuamente excludentes, pois o internalismo não diz que a auto-organização é a *causa* da adaptação.

Julgamos que as duas teses que investigamos nesse trabalho sejam complementares à visão aceita. Se a entendermos como o estudo da microevolução, então a visão aceita certamente se beneficiará de esclarecimentos como os que fazem Kauffman e Gould, respectivamente, sobre as bases da hereditariedade e sobre a natureza da macroevolução. A compatibilidade entre pontos de vista aparentemente tão díspares entre si é mostra do pluralismo inerente à prática científica em biologia. Cabe à filosofia da biologia determinar as bases sobre as quais esse pluralismo pode ser sustentável, e, se não for esse o caso, quais as razões para a contradição.

6 REFERÊNCIAS

- Amundson, R. (1998) “Two Concepts of Constraint: Adaptationism and the Challenge from Developmental Biology”, in Hull, D. L.; Ruse, M. (eds.) (1998), p. 93-116.
- Amundson, R. (2006) “EvoDevo as Cognitive Psychology”, *Biological Theory* **1**(1): p. 10-1.
- Anderson, C. (2002) “Self-Organization in Relation to Several Other Similar Concepts: Are the Boundaries to Self-Organization Indistinct?”, *Biological Bulletin* **202**: p. 247-55.
- Arthur, W. (2002) “The emerging conceptual framework of evolutionary developmental biology”, *Nature* **415**: p. 757-64.
- Arthur, W. (2004) *Biased Embryos and Evolution*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Arthur, W. (2006) “D’Arcy Thompson and the Theory of Transformations”, *Nature Reviews Genetics* **7**: p. 401-6.
- Ashby, W. R. (1960) *Design for a Brain: the origin of adaptive behaviour*. London: Chapman & Hall.
- Azkonobieta, T. (2005) *Evolución, desarrollo y (auto)organización. Un estudio sobre los principios filosóficos de la Evo-Devo*. San Sebastián: Universidad del País Vasco [tese de doutorado].
- Beatty, J. (1995) “The Evolutionary Contingency Thesis”, in Wolters, G.; Lennox, J. G. (eds.) *Concepts, Theories, and Rationality in the Biological Sciences*. Konstanz e Pittsburgh: Universitätsverlag Konstanz, University of Pittsburgh Press.
- Beatty, J. (1997) “Why Do Biologists Argue Like They Do?”, *Philosophy of Science* **64** (Proceedings): p. S432-43.
- Behe, M. (1997) *A Caixa Preta de Darwin. O desafio da bioquímica à teoria da evolução*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Beltrán, C. L. (1998) “Narrativa y explicación en las ciencias naturales”, in Martínez, S.; Barahona, A. (comps.) (1998), p. 197-211.

- Boden, M. (ed.) (1996) *The philosophy of artificial life*. Oxford: Oxford University Press.
- Bowler, P. (1998) *Life's Splendid Drama: Evolutionary Biology and the Reconstruction of Life's Ancestry 1860-1940*. Chicago: Chicago University Press.
- Brandon, R. (1997) "Does Biology Have Laws? The Experimental Evidence", *Philosophy of Science* **64** (Proceedings): p. S444-57.
- Brockman, J. (ed.) (1996) *La Tercera Cultura: mas allá de la revolución científica*. Barcelona: Tusquets.
- Burian, R. M.; Richardson, R. C. (1996) "Form and order in evolutionary biology", in Boden, M. (ed.) (1996), p. 146-72.
- Camazine, S.; Deneubourg, J.-L.; Franks, N. R.; Sneyd, J.; Theraulaz, G.; Bonabeau, E. (2003) *Self-Organization in Biological Systems*. Princeton: Princeton University Press.
- Caponi, G. (2000) "Cómo y por qué de lo viviente", *Ludus Vitalis* **VIII** (14): p. 67-102.
- Caponi, G. (2004a) "La Navaja de Darwin", *Ludus Vitalis* **XII** (22): p. 9-38.
- Caponi, G. (2004b) "Los Objetivos Cognitivos de la Paleontología Cuvieriana", *Principia* **8**(2): p. 233-58.
- Caponi, G. (2005) "O darwinismo e seu outro, a teoria transformacional da evolução", *Scientiae Studia* **3** (2): p. 233-42.
- Caponi, G. (2006a) "El concepto de *organización* en la *polémica de los análogos*", *Revista da SBHC* **4** (1): p. 34-54.
- Caponi, G. (2006b) "El viviente y su medio: antes y después de Darwin", *Scientiae Studia* **4** (1): p. 9-43.
- Cartwright, N. (1999) *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Chaline, J. (2006) *Quoi de neuf depuis Darwin? La théorie de l'évolution des espèces dans tous ses états*. Paris: Ellipses.
- Conway Morris, S. (1998) *The Crucible of Creation*. Oxford: Oxford University Press.
- Darwin, C. (1859) *On the Origin of Species*. London: John Murray. *Fac-símile disponível em <http://www.esp.org>*.
- Darwin, C. (1883 [1868]) *The Variation of Animals and Plants Under Domestication, Second Edition, Revised (two volumes)*. New York: D. Appleton & Co. *Fac-símile disponível em <http://www.esp.org>*.

- Dennett, D. C. (1978) *Brainstorms: Philosophical Essays on Mind and Psychology*.
Montgomery: Bradford Books.
- Dennett, D. C. (1998) *A perigosa idéia de Darwin*. Rio de Janeiro: Rocco.
- Depew, D. J.; Weber, B. H. (1995) *Darwinism Evolving: Systems Dynamics and the Genealogy of Natural Selection*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Dutra, L. H. de A. (1998) *Introdução à Teoria da Ciência*. Florianópolis: Editora da UFSC.
- Eldredge, N. (1995) *Reinventing Darwin: The Great Evolutionary Debate*. London: Phoenix Giant.
- Emmeche, C. (1994) *The Garden in the Machine: The Emerging Science of Artificial Life*. Princeton: Princeton University Press.
- Feltz, B.; Crommelinck, M.; Goujon, P. (org.) (1999) *Auto-Organisation et Émergence dans les Sciences de la Vie*. Bruxelles: Ousia.
- Fisher, R. A. (1930) *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: Oxford University Press.
- Futuyma, D. (2003) *Biologia Evolutiva*. Ribeirão Preto: FUNPEC.
- Gayon, J. (1997) “The paramount power of selection: From Darwin to Kauffman”, in Dalla Chiara, M. L.; Doets, K.; Mundici, D.; van Benthem, J. (eds.) *Structures and Norms in Science, Volume Two of the Tenth International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science — Florence, August 1995*. Dordrecht: Kluwer, p. 265-282.
- Gayon, J. (2003) “From Darwin to today in evolutionary biology”, in Hodge, J.; Radick, G. (eds.) (2003), p. 240-64.
- Ghiselin, M. (1983 [1966]) *El Triunfo de Darwin*. Madrid: Cátedra.
- Giere, R. N. (1999) *Science Without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Goodwin, B. (1984) “A relational or field theory of reproduction and its evolutionary implications”, in Ho, M.-W.; Saunders, P. T. (eds.) (1984a), p. 219-41.
- Goujon, P. (1999) “De la logique à l'auto-organisation”, in Feltz, B.; Crommelinck, M.; Goujon, P. (orgs.) (1999), p. 103-34.
- Gould, S. J. (1977) *Ontogeny and phylogeny*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gould, S. J. (1982) “Darwinism and the Expansion of Evolutionary Theory”, *Science* **216**: p. 380-7.
- Gould, S. J. (1986) “Play it Again, Life”, *Natural History* **95** (Feb.): p. 18-26.

- Gould, S. J. (1990) *Vida Maravilhosa: o acaso na evolução e a natureza da história*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Gould, S. J. (1994a) “Tempo and mode in the macroevolutionary reconstruction of Darwinism”, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **91** (july): p. 6764-71.
- Gould, S. J. (1994b) “The Evolution of Life on the Earth”, *Scientific American* **Oct**: p. 63-9.
- Gould, S. J. (1995) “A task for paleobiology at the threshold of majority”, *Paleobiology* **21**: p. 1-14.
- Gould, S. J. (1997) “‘O que é vida?’ como um problema histórico”, in Murphy, M. P., e O’Neill, L. A. (org.) (1997), p. 35-51.
- Gould, S. J. (2001), “Contingency”, in Briggs, D. E. G.; Crowther, P. R. (eds), *Palaeobiology II*. Blackwell Scientific, London, p. 195-8.
- Gould, S. J. (2002) *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Gould, S. J.; Lewontin, R. (1979) “The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme”, *Proceedings of the Royal Society, London* **205**: p. 581-98.
- Gould, S. J.; Vrba, E. (1998 [1982]) “Exaptation – A Missing Term in the Science of Form”, in Hull, D.; Ruse, M. (eds.) (1998), p. 52-71.
- Grantham, T. A. (1999) “Explanatory Pluralism in Paleobiology”, *Philosophy of Science* **66** (Proceedings): p. S223-36.
- Grantham, T. A. (2004) “Constraints and Spandrels in Gould’s *Structure of Evolutionary Theory*”, *Biology and Philosophy* **19**: p. 29-43.
- Hempel, C. G. (1979 [1965]) *La Explicación Científica*. Buenos Aires: Paidós.
- Ho, M.-W.; Saunders, P. T. (eds.) (1984a) *Beyond Neo-Darwinism: An Introduction to the New Evolutionary Paradigm*. London: Academic Press.
- Ho, M.-W.; Saunders, P. T. (1984b) “Pluralism and Convergence in Evolutionary Theory”, in Ho, M.-W.; Saunders, P. T. (eds.) (1984a), p. 3-12.
- Hodge, J.; Radick, G. (eds.) (2003) *The Cambridge Companion to Darwin*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hull, D. L. (1975) *Filosofia da Ciência Biológica*. Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- Hull, D. L. (1998) “Sujetos centrales y narraciones históricas”, in Martínez, S.; Barahona, A. (comps.) (1998), p. 247-72.

- Hull, D. L.; Ruse, M. (eds.) (1998) *The Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford University Press.
- International Human Genome Sequencing Consortium (2004) “Finishing the euchromatic sequence of the human genome”, *Nature* **431**: p. 931-45.
- Jacob, F. (1977) “Evolution and Tinkering”, *Science* **196**: p. 1161-66.
- Kauffman, S. (1991) “Antichaos and Adaptation”, *Scientific American* **Aug**: p. 64-70.
- Kauffman, S. (1992a) “Origins of order in evolution: Self-organization and selection”, in Varela, F., Dupuy, J. P. (ed.) *Understanding Origins*. Dordrecht: Kluwer, 153-182.
- Kauffman, S. (1992b), “The Sciences of Complexity and ‘Origins of Order’”, in Mittenthal, J. E., Baskin, A. B. (ed.), *Principles of Organization in Organisms*. Reading: Addison Wesley, p. 303-19.
- Kauffman, S. (1993) *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. (1995) *At Home in the Universe: The Search for the Laws of self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, S. (1997) ““O que é vida? Schrödinger estava certo?””, in Murphy, M. P.; O’Neill, L. A. (orgs.) (1997), p. 101-35.
- Kauffman, S. (1998 [1970]) “La explicación por articulación de partes en la biología y su búsqueda racional”, in Martínez, S., Barahona, A. (comps.) (1998), p. 42-60.
- Kierkegaard, S. (2000 [1843]) “Early Journal Entries”, in: Hong, H. V.; Hong, E. H. (eds.) (2000) *The Essential Kierkegaard*. Princeton: Princeton University Press, p. 3-12.
- Laudan, L. (1977) *Progress and its Problems: Toward a Theory of Scientific Growth*. Berkeley: University of California Press.
- Lewin, R. (1994) *Complexidade: A Vida no Limite do Caos*. Rio de Janeiro: Rocco.
- Lwoff, A. (1969) *L’Ordre Biologique*. Paris: Robert Laffont.
- Martínez, S., Barahona, A. (comps.) (1998) *Historia y explicación en biología*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maynard Smith, J. (1996) “Evolution – Natural and Artificial”, in Boden, M. (ed.) (1996), p. 173-8.
- Maynard Smith, J. (1998) *Shaping Life: Genes, Embryos and Evolution*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- Mayr, E. (1988) *Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Mayr, E. (1998) *O desenvolvimento do pensamento biológico*. Brasília: Editora da UnB.
- McCulloch, W. S.; Pitts, W. (1943) "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics* **5**: p. 115-33.
- McIntyre, L. (1997) "Gould on Laws in Biological Science", *Biology and Philosophy* **12**: p. 357-67.
- Monod, J. (1970) *Le Hasard et la Nécessité: Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris: Seuil.
- Morange, M. (1994) *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris: La Decouverte.
- Murphy, M. P.; O'Neill, L. A. (orgs.) (1997) "O que é vida?" 50 anos depois: *Especulações sobre o futuro da biologia*. São Paulo: Unesp.
- Oyama, S. (1995) "The Accidental Chordate: Contingency in Developmental Systems", *South Atlantic Quarterly* **94** (2): p. 509-26.
- Quine, W. V. O. (1969) *Ontological Relativity and Other Essays*. New York: Columbia University Press.
- Raup, D. M. (1991) *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?* New York & London: W. Norton & Company.
- Resnik, D. (1995) "Developmental Constraints and Patterns: Some Pertinent Distinctions", *Journal of Theoretical Biology* **173**: p. 231-40.
- Richardson, R. C. (1999) "Explication et causalité dans les systèmes auto-organisés", in Feltz, B.; Crommelinck, M.; Goujon, P. (orgs.) (1999), p. 439-74.
- Richardson, R. C. (2001) "Complexity, Self-Organization and Selection", *Biology and Philosophy* **16**: p. 655-83.
- Ruiz, R.; Ayala, F. (1998) *El Método en las Ciencias: Epistemología y darwinismo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Smith, K. C. (1992) "Neo-Rationalism Versus Neo-Darwinism: Integrating Development and Evolution", *Biology and Philosophy* **7**: p. 431-51.
- Sober, E. (1984) *The Nature of Selection*. Chicago: Chicago University Press.
- Sober, E. (1988) *Reconstructing the Past: Parsimony, Evolution, and Inference*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sober, E. (1993) *Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford University Press.
- Sober, E. (1997) "Two Outbreaks of Lawlessness in Recent Philosophy of Biology", *Philosophy of Science* **64** (Proceedings): p. S458-67.
- Sterelny, K.; Griffiths, P. E. (1999) *Sex and Death: An Introduction to Philosophy of Biology*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Sturtevant, A. H. (2001 [1965]) *A History of Genetics*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press. Disponível em <http://www.esp.org>.
- Thompson, D'Arcy W. (1942) *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Toulmin, S. (1961) *Foresight and Understanding: An Enquiry into the Aims of Science*. New York: Harper & Row.
- Webster, G. (1984) "The relations of natural forms", in Ho, M.-W.; Saunders, P. T. (eds.) (1984a), p. 193-217.
- Webster, G.; Goodwin, B. (2006 [1982]) "The Origin of Species: A Structuralist Approach", in Neumann-Held, E. M.; Rehmann-Sutter, C. (eds.) *Genes in Development: Re-reading the Molecular Paradigm*. Durham and London: Duke University Press, p. 99-134.
- Wright, S. (1932) "The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution", in Jones, D. (ed.), *Proceedings of the sixth international congress of genetics, Ithaca, New York* (1), p. 356.