

## EMERGÊNCIA E REDUÇÃO: UMA INTRODUÇÃO HISTÓRICA E FILOSÓFICA

Oswaldo Pessoa Jr.

**Q**uando se diz que a vida “emergiu” na Terra, não se está dizendo que algo pré-existente deu as caras, como um golfinho que emerge na superfície da água. O conceito de emergência está associado à ideia de *novidade*. Porém, no estágio avançado em que a ciência se encontra, grandes áreas do conhecimento foram unificadas por leis físicas, químicas e biológicas, que envolvem entidades que se conservam, como os átomos, mas que se rearranjam de diferentes formas para gerar toda a variedade do mundo natural. Até que ponto pode dar certo o projeto de “reduzir” os fenômenos naturais, como a vida, a um conjunto de moléculas que se organizam de diferentes formas com o passar do tempo? Até que ponto a novidade na natureza ou a criatividade humana podem ser explicadas? Em que medida é preciso postular uma “emergência” de entidades e de propriedades para sanar as limitações do reducionismo? Neste caso, como seria esta teoria da emergência, nos diferentes campos das ciências naturais, humanas e formais? Estas são perguntas para as quais não se tem respostas consensuais. Neste artigo, e nos demais que compõem este Núcleo Temático, diferentes abordagens serão dadas a essas questões.

Em poucas palavras, o conceito de *emergência* refere-se a um estado de coisas no qual as propriedades de um certo domínio *não se reduzem* completamente às propriedades de outro domínio (seriam “autônomos”), apesar de serem, em algum sentido, *produzidos* por este outro domínio (ou serem “dependentes” deste).

Esta caracterização deixa clara uma certa tensão ou ambiguidade do conceito, uma “produção sem redução”, uma “dependência com autonomia”, que constitui a força e a fraqueza do conceito de emergência. A força surge do fato de que estamos estendendo nossa linguagem e nossa teoria para os limites de nosso conhecimento, região em que nossas intuições e expectativas lógicas às vezes nos enganam, de maneira que talvez esse conceito ambíguo seja nossa melhor aproximação à verdade. Mas a fraqueza surge justamente das tensões lógicas inerentes ao conceito, que ficam evidentes quando se abandona o uso pragmático desse conceito e se busca analisá-lo de maneira mais rigorosa.

**EMERGÊNCIA NO EMPIRISMO BRITÂNICO** O conceito de emergência surgiu no contexto da filosofia empirista britânica do século XIX. Ao tratar da “composição das causas”, John Stuart Mill (1) forneceu o seguinte exemplo, que modificamos um pouco. Imaginemos uma solitária bola de bilhar em cima de uma mesa, e duas pessoas que irão dar uma tacada em diferentes direções. Se apenas um jogador der a tacada, diríamos que uma causa individual (o impulso) gera um efeito específico (a velocidade da bola na correspondente direção). O que

aconteceria se ambas as pessoas dessem sua tacada ao mesmo tempo? Ora, pelo princípio de composição de forças, o efeito final seria a soma vetorial dos efeitos individuais. Em termos atuais, diríamos que, nesse caso, a soma das causas é *linear*. Mill chamou esse tipo de composição de causas de “homopático”, distinguindo-o do “heteropático”, que incluiria os casos de soma *não linear* de causas, como aqueles que tipicamente acontecem na química. Por exemplo, misturam-se dois líquidos transparentes, como uma solução de hidróxido de sódio e fenolftaleína, e o resultado não é transparente (como seria de se esperar em uma soma homopática), mas cor de rosa.

O fato de as causas na química e na fisiologia não se somarem de maneira homopática indicava, para Mill, que é “impossível deduzir” as leis dessas áreas a partir das leis da física. Esta é uma expressão da tese da *emergência*: as leis da química e da biologia seriam irredutíveis às leis da física, no sentido de não serem dedutíveis a partir destas. Mill também concebia que enunciados da química e da biologia podem ser deduzidos de leis fundamentais dentro de cada área respectiva. No caso da química, haveria leis fundamentais que seriam irredutíveis às leis da física, mas que serviriam para reduzir os outros enunciados da química. Nossas teorias se estratificariam em domínios autônomos.

Essas ideias de Mill foram estudadas e desenvolvidas por dois outros pensadores no final do século XIX: o filósofo e psicólogo escocês Alexander Bain (1870) e o filósofo inglês George Henry Lewes (1875). Este último cunhou o termo “emergência”: “Ressaltar que não sabemos como essas condições múltiplas emergem no fenômeno da consciência é dizer que o fato sintético não foi resolvido analiticamente em termos de todos os seus fatores. É igualmente verdadeiro que não sabemos como a água emerge do oxigênio e hidrogênio. O fato da emergência nós conhecemos; e podemos estar seguros de que o que emerge é a expressão de suas condições” (2).

A posição de Lewes, como ele esclarece na sequência do texto, se contrapõe à do espiritualista, que defende que a mente tem existência independente do corpo. Sua postura é claramente materialista, ao escrever que as manifestações da consciência “são” as ações do mecanismo nervoso.

**INTERLÚDIO FILOSÓFICO: ÔNTICO VERSUS EPISTEMOLÓGICO** Nesse trecho de Lewes, apresenta-se uma distinção muito importante na filosofia, entre afirmações “ontológicas” e “epistemológicas”. Quando Lewes escreve que a água “é” a combinação de hidrogênio e oxigênio, ele parece estar se referindo a como as coisas são na realidade, independente da presença ou não de um observador, ou de mentes inteligentes. Esta é uma afirmação *ôntica*. Por outro lado, ao sugerir que o conceito de emergência se aplica a situações em que “não sabemos” como fazer a redução, ele está fazendo uma afirmação *epistemológica*, relativa ao conhecimento da realidade, e não à realidade em si.

Esta distinção nem sempre é muito clara. Afinal, como seria possível falar da realidade em si, sem que seja por meio de nosso conhecimento dela? Quem aceita esta tese, de que não faz sentido se referir a uma realidade independente de conceitos humanos, ou a uma realidade inobservável, está adotando uma postura *antirrealista* ou “fenomenalista” (no sentido de que só temos acesso aos fenômenos

observáveis, e não à coisa-em-si que presumivelmente estaria por trás dos fenômenos). Esta postura é comum a várias correntes filosóficas, como o positivismo, o construtivismo kantiano e o pragmatismo.

Em contrapartida, aquele que de alguma forma aceita que se possa referir a entidades inobserváveis, ou que concebe um limite que aponta para uma realidade que seja independente de conceitos humanos, adota uma postura *realista*. Esta é a postura de correntes como o materialismo e o espiritualismo, que especulam metafisicamente a respeito do que acontece conosco após a morte. A verdade é concebida como uma correspondência entre linguagem e realidade.

Ao discutirmos a relação que há entre duas teorias, como a mecânica estatística e a termodinâmica, ou entre a mente e o corpo, ou entre a fisiologia animal e a biologia molecular, coloca-se a questão de se uma teoria é redutível à outra. Tal redução, ou sua negação (a ser chamada de emergência), pode ser considerada em diferentes “variedades” ou “categorias”. Cada autor propõe sua própria terminologia, mas adotaremos aqui uma divisão em três variedades de redução (ou de sua negação): a *ôntica* (metafísica), a *teórica* (epistemológica) e a *metodológica* (3). Assim, por exemplo, um realista pode defender a redução ôntica entre dois domínios, mas recusar a redução teórica.

**HOLISMO VERSUS SEPARABILISMO** As discussões de Mill, Bain e Lewes se encerraram em torno de 1880, e demoraria 40 anos para serem retomadas nas Ilhas Britânicas, em um novo contexto: o da evolução biológica. Devemos porém ressaltar aqui que a discussão entre redução e emergência já fazia parte da tradição filosófica que remontava à Antiguidade.

Na Grécia e Roma Antigas, os atomistas (como Leucipo, Demócrito, Epicuro, Lucrecio e Asclepíades) eram os reducionistas por excelência, concebendo que todos os corpos seriam compostos de átomos indivisíveis, de diferentes tamanhos e formatos, que se enroscavam para compor os corpos do nosso cotidiano. Tais átomos se moveriam no espaço vazio, espaço esse que era concebido como infinito em extensão, e a única força atuante seria o choque ou enroscamento entre átomos, bem no espírito do mecanicismo do século XVII. Mesmo os atributos da percepção e da alma humana eram reduzidos a átomos muito pequenos e esféricos.

Atribuiremos o nome de “reducionismo separabilista”, ou simplesmente “separabilismo”, para essa concepção. Diversas correntes da Antiguidade se opunham a ela, como o estoicismo e o hilemorfismo de Aristóteles. Abordando os paradoxos do movimento, de Zenão, referindo-se ao espaço e ao tempo, Aristóteles argumentou que estes não possuem partes *atuais*, mas apenas partes *potenciais*. Se houver uma divisão de uma distância em duas metades, aí se pode falar em duas partes atuais, mas, antes desta divisão, as partes são apenas potenciais. Ao passar essa ideia para a constituição dos corpos, pode-se dizer que um pedaço de âmbar é antes de tudo um *todo*, sem partes atuais, mas apenas potenciais; só após se dividir o âmbar com uma faca é que as duas partes resultantes passam a existir de modo atual. Nesta concepção *holista*, o todo é anterior às partes.

**A DISCUSSÃO  
ENTRE REDUÇÃO  
E EMERGÊNCIA  
JÁ FAZIA PARTE  
DA TRADIÇÃO  
FILOSÓFICA QUE  
REMONTAVA À  
ANTIGUIDADE**

Concepções “organicistas” na biologia opuseram-se tradicionalmente ao mecanicismo, postulando que seres vivos possuem uma unidade, uma forma, um arquétipo, uma organização e/ou (dependendo do autor) uma finalidade, que existiria(m) como algo distinto das partes físicas componentes do organismo. Tais concepções tornaram-se fortes no contexto do romantismo alemão do século XIX, tanto na filosofia quanto na biologia pré-darwiniana. O organicista Claude Bernard era um destacado defensor do reducionismo metodológico, ou seja, do programa de se levar ao máximo a redução da fisiologia à química e física, mas recusava o reducionismo teórico e ôntico: “Tudo isso prova que esses elementos, enquanto distintos e autônomos, não desempenham o papel de simples associados, e que sua união exprime mais do que a soma de suas propriedades separadas” (4).

A afirmação de que “o todo é maior do que a soma das suas partes” caracteriza a visão holista, mas ela precisa ser qualificada com cuidado. Tomemos o exemplo de um modelo de plástico em escala de um avião, que pode ser adquirido em lojas de brinquedo. Pode-se dizer que o modelo montado por uma criança é “maior” do que a soma de suas partes de plástico, soltas na caixa adquirida na loja? Bem, a criança utilizou cola para grudar as partes do avião, mas

essa cola também pode ser considerada uma das partes do modelo construído. Mas o ponto não é esse, e sim que no modelo montado as partes estão *organizadas* de uma certa maneira, ao passo que na caixa estavam de outra. Pode-se então dizer, como sugerem alguns autores, que o reducionismo separabilista fracassa porque ele deixa de fora a organização das partes?

Se a questão fosse só essa, ela seria trivial. Mesmo para os atomistas gregos, não faria sentido falar em redução dos corpos aos átomos sem levar em conta o “arranjo” dos átomos, ou seja, todas as

relações entre as partes. As relações espaciais e cinemáticas entre as partes são imprescindíveis na descrição do reducionista separabilista, como pode ser ilustrado no exemplo da redução do sistema solar às suas partes (3). A definição de sistema holista precisa ser dada com mais cuidado (5), sendo um conceito importante na discussão sobre emergência.

**A EVOLUÇÃO EMERGENTE** Na filosofia francesa, Henri Bergson, herdeiro da tradição espiritualista, exerceu bastante influência em suas críticas ao materialismo e ao reducionismo mecanicista. Em 1907 publicou sua *Evolução criadora*, defendendo a existência de um “*élan vital*” que guiaria a evolução biológica, introduzindo novas variações qualitativas e criatividade na evolução. No contexto britânico suas ideias foram bastante discutidas, consideradas irracionais por alguns, mas aceitas em boa medida por outros.

A figura central na elaboração de uma teoria da emergência em um contexto naturalista, levando em conta a consolidação da teoria da evolução biológica, foi o cientista inglês Conwy Lloyd Morgan. Ele travou contato com a obra de Bergson em 1912, quando passaram a se corresponder. Apesar de discordar da tese bergsoniana de que a intuição seria superior à razão, abraçou a ideia de que a evo-

lução biológica produz novidade genuína. Sua concepção madura foi publicada em 1923 no livro *Emergentevolution* (6). Assimilou a terminologia de Lewes de efeitos “resultantes” e “emergentes”, considerando os primeiros como desenvolvimentos quantitativos que ocorrem de maneira contínua na evolução, ao passo que os segundos seriam novidades qualitativas que “co-ocorreriam” com as mudanças mecanicistas. O surgimento de um emergente seria imprevisível e quando surgisse, no “nível da vida”, alteraria o curso dos eventos físicos no nível inferior. Essa atribuição de poder causal aos emergentes, que escaparia do ordenamento mecanicista, é conhecida hoje como “causação descendente”.

David Blitz (7) traça um panorama detalhado da obra de Lloyd Morgan e de outros autores de língua inglesa que desenvolveram ideias semelhantes, no período. Vários outros autores com trabalhos relacionados à evolução emergente e à estratificação do real em diferentes níveis de emergência são examinados por Blitz, assim como diversos críticos, incluindo Bertrand Russell e Rudolf Carnap. Essas críticas filosóficas, aliadas à consolidação do programa reducionista da genética, levaram a um certo “eclipse do emergentismo” entre 1930 e meados da década de 1950. Mas visões emergentistas permaneceram nas concepções de biólogos organicistas como Needham, Woodger e Novikoff, que salientavam a estratificação da realidade em diferentes níveis hierárquicos autônomos, evitando assim a redução mecanicista.

No campo da filosofia da ciência, a retomada do interesse nos conceitos de emergência e de causação descendente se deu a partir da revisão crítica feita em 1956 por Meehl e Sellars (8). A ideia de emergência na filosofia da mente oferecia uma maneira de conciliar o materialismo (ou “fiscismo”, *physicalism*, como se começou a falar na década de 1950) com o não reducionismo. O neurocientista Roger Sperry começou a articular sua concepção em 1952, a partir da noção de que os fenômenos mentais não se encontram no nível neuronal, mas constituem um nível holista mais elevado. Na década de 1960, culminou seus esforços de compreensão do fenômeno psíquico com a tese da causação descendente, a tese de que a consciência pode controlar, de maneira *top-down* (de cima para baixo), os caminhos seguidos pelo cérebro (9).

A “re-emergência” dos conceitos de emergência, de estratificação da natureza e de causação descendente se consolidou, na filosofia da biologia, na década de 1970, em autores como Ernst Mayr, Paul Weiss, Peter Medawar e Donald Campbell. Na filosofia da ciência, autores como Karl Popper e Mario Bunge exploraram o conceito no final da década de 1970, e nos anos seguintes ele se tornou um tópico central da filosofia da mente, associado ao fisicismo não-redutivo, e explorado em coletâneas, como Beckerman et al. (10) e Bedau e Humphreys (11). Na física, a partir da década de 1970, o conceito de emergência se tornou central no debate entre físicos da matéria condensada e o reducionismo dos físicos de partículas elementares (12).

**A RELAÇÃO DE SUPERVENIÊNCIA** O debate entre emergentistas e reducionistas na ciência se refere ao estatuto da relação entre diferentes *níveis* na natureza, como o mundo das moléculas e o mundo dos organismos (na biologia), como a escala subatômica e a escala

macroscópica (na física e química) e como o domínio material e mental (na psicologia e neurociência). Em cada par de níveis mencionados, o primeiro será chamado nível “inferior”, e o segundo de “superior”. Evitaremos tratar aqui de sistemas abstratos, como os da matemática, pois, por serem construções mentais, parecem carregar dentro de si, de maneira implícita, os problemas não resolvidos da relação mente-corpo.

O chão comum aos dois lados do debate é que os acontecimentos do nível superior são “dependentes” daqueles do nível inferior, ou, no jargão filosófico, os primeiros “supervêm” a partir dos segundos. A relação de *superveniência* entre dois níveis, conforme usada por Davidson (1970), equivale à situação em que, se fixarmos o estado do nível inferior, fixaremos de maneira unívoca o estado do nível superior.

Por exemplo, dado um estado microscópico de um gás, onde as massas, posições, velocidades etc de cada molécula são fixadas, tem-se uma previsão unívoca a respeito de qual é a pressão  $p_1$  e a temperatura  $T_1$  a ser medida por um instrumento macroscópico naquele mesmo instante (supondo-se condições de contorno bem controladas). Nesse sentido, as macropropriedades ( $p$ ,  $T$ ) supervêm às micropropriedades ( $m_p$ ,  $r_p$ ,  $v_p$  etc). Em contrapartida, se os valores das propriedades do nível superior forem fixadas, há um imenso conjunto de microestados distintos que são consistentes com esses valores das macropropriedades: isso exemplifica que a relação de superveniência é, em geral, assimétrica.

No debate entre emergentistas e reducionistas, o chão comum é a aceitação da relação de superveniência entre domínios dos dois níveis em questão. Assim, no caso das filosofias materialistas da mente, quem aceita a relação de superveniência aceita que se fixássemos o estado corporal de uma pessoa, com um nível de precisão molecular, fixaríamos a sua mente a um único estado subjetivo.

**VERSÕES DE EMERGÊNCIA** Há, assim, uma concordância no debate entre emergentistas e reducionistas de que algum domínio do nível inferior fixa, univocamente, um domínio do nível superior. Porém, “fixar” não é sinônimo de “reduzir”; pelo menos, esta é a tese das posições emergentistas. Para estas, mesmo com a relação de superveniência, o nível superior preserva algum grau de “autonomia” em relação ao inferior. Para os reducionistas, esta autonomia é nula; para os emergentistas ela é significativa.

Como os emergentistas explicam esta postulada autonomia? Olhando para a história do conceito, Stephan (13) identificou cinco “versões” de emergência: 1) autores como Mill e Lewes enfocam a *não-aditividade* ou não-linearidade das causas que levam ao efeito emergente; 2) para Morgan e Alexander, na década de 1920 e, mais recentemente, Bunge, a emergência envolve o surgimento de *novidade*; 3) Morgan e Broad, além de Popper, salientam a *imprevisibilidade* dos entes ou das propriedades emergentes; 4) autores como Mill e Broad ressaltam a *não-dedutibilidade* das propriedades emergentes do nível superior a partir do nível inferior. Mais modernamente, fala-se em *inexplicabilidade*; 5) e, por fim, alguns autores tomam a já mencionada *causação descendente* como característica definidora da emergência.

Outra distinção relevante é aquela entre uma relação de emergência “sincrônica” e uma “diacrônica” (14). A relação sincrônica se daria em um único instante de tempo e, portanto, não envolve causalidade (entendida como uma relação entre eventos em diferentes instantes do tempo). Parece-me que este é o sentido mais interessante da relação de emergência ou redução, que no caso das ciências físicas envolveria diferentes escalas (nano, micro, macro).

A relação diacrônica envolve a passagem do tempo entre um estado no nível inferior e outro no nível superior. Para Stephan (14), isso é característico da variedade de emergentismo baseada na noção de imprevisibilidade ou de novidade, ou seja, quando uma propriedade emergente é imprevisível antes de seu primeiro surgimento.

**EMERGÊNCIA PRAGMÁTICA E REALISTA** Levando em conta a distinção, feita anteriormente, entre redução ôntica e teórica (epistemológica), percebemos que as noções de imprevisibilidade e inexplicabilidade tendem a ser epistemológicas, relativas à capacidade de previsão ou explicação dos seres humanos, não sendo uma propriedade da própria realidade. Porém, num contexto realista, essas noções epistemológicas poderiam ser usadas para definir uma propriedade ôntica, por exemplo, a de que é *impossível* colocar o sistema complexo em uma relação de correspondência com qualquer sistema linguístico.

Já num contexto mais pragmático, em que o imprevisível e o inexplicável é sempre tomado em relação às limitações humanas, torna-se bastante plausível a defesa do emergentismo (15). Se o ser humano nunca conseguir prever em qual direção (esquerda ou direita) irá vergar uma barra vertical simétrica e flexível, sujeita a uma força vertical, e nem explicar de maneira completa o ocorrido, então o pragmatista está justificado em dizer que esse vergamento ou “flambagem” da barra é uma propriedade emergente (12). Já o reducionista terá que adotar uma postura realista, e dizer que “em princípio” tal flambagem seria previsível (por exemplo, por um demônio de Laplace), ou que, “em princípio”, se poderia dar uma explicação completa, levando em conta *todas* as moléculas da barra e de seu entorno.

Este debate entre o pragmatismo e o realismo é uma comparação entre posições filosóficas e não envolve nenhuma grande questão *científica* a respeito da natureza do mundo real. Para tornar o debate mais significativo, é interessante articular uma posição *emergentista realista*.

No caso das ciências físicas, é comum o argumento de que a derivação de uma lei macroscópica (da matéria condensada ou da química) a partir da física atômica envolve dados obtidos na área macroscópica e aproximações que só são feitas porque se sabe qual é a lei que se quer derivar. Mas tais argumentos são epistemológicos, referentes a como nós, seres humanos, estabelecemos uma derivação teórica de redutibilidade entre dois níveis. Para um emergentista realista, é preciso um argumento mais forte, que estabeleça alguma impossibilidade real de se passar de um nível inferior para o superior. No caso das ciências físicas, o melhor argumento nesse sentido é que há diversos domínios ou “protetorados”, como o estado cristalino ou a supercondutividade, que são regulados por princípios de simetria próprios e são insensíveis a detalhes mais microscópicos (16).

No caso da relação mente-corpo, há argumentos realistas adicionais a favor da emergência, em especial o caráter *sui generis* das qualidades fenomênicas subjetivas (*qualia*), que são de natureza totalmente diversa das grandezas quantitativas utilizadas pela descrição física da natureza.

**EMERGÊNCIA FRACA, MÉDIA E FORTE** Há um sentido de emergência que é bem aceito pelos reducionistas, e para esta acepção Stephan (14) reserva o nome de “emergência fraca”, ao passo que Bedau (17) a chama de “emergência nominal”. Isso é exemplificado nas ciências físicas, nas situações em que se fala de uma propriedade coletiva, como a liquidez, que não se aplica a uma molécula.

No polo oposto, há o que ambos os autores chamam de “emergência forte”. Stephan a caracteriza simplesmente como não redutibilidade, sendo que o candidato mais plausível está na relação mente-corpo. Já Bedau considera que a emergência forte é caracterizada pela causalidade descendente: entes emergentes no nível superior teriam “poderes causais” ausentes nos entes de nível inferior. No caso da relação mente-corpo, isso seria exemplificado por estados mentais de desejo, que causam estados mentais de decisão; nossa intuição parece sugerir que é o estado de desejo, e não seu substrato material, que causa a alteração no substrato material que corresponde à decisão. Argumentos semelhantes são feitos na biologia evolutiva, na teoria de seleção em múltiplos níveis (18). A clássica crítica ao conceito de causalidade descendente, na filosofia da mente, foi feita por Kim (19).

Entre os dois extremos, Bedau define a “emergência fraca”, em que o nível superior seria em princípio onticamente redutível ao nível inferior, como quer o reducionista, mas a explicação do nível superior a partir do inferior seria “especialmente complexa” (20). Esta seria uma “explicação gerativa incompressível”, que explicaria corretamente como os eventos macroscópicos se desdobram no tempo, traçando cada detalhe da complexa rede de interações causais microscópicas, e sem a possibilidade de uma explicação mais sucinta.

Tal definição se originou em seus estudos sobre sistemas computacionais, especificamente os autômatos celulares, onde padrões complexos surgem de maneira surpreendente a partir de regras simples. Parece óbvio que em um computador digital não pode ocorrer emergência forte, já que tudo o que ocorre na tela do computador é redutível a pixels separados, codificados por registros de memória individuais e separados. Emergência fraca se refere, neste contexto artificial, àqueles padrões que não podem ser calculados por um programa menor do que aquele de simulou o próprio padrão, segundo a definição de complexidade algorítmica de Solomonoff-Kolmogorov-Chaitin (21).

Para concluir, podemos dizer que há um certo acordo entre reducionistas e emergentistas a respeito dos casos de emergência fraca, havendo um esforço científico para descrever de maneira mais elegante e frutífera a emergência de padrões complexos. A discordância refere-se aos casos de emergência forte, tanto nas ciências físicas, quanto na biologia, quanto na neurociência/psicologia.

*Oswaldo Pessoa Jr. é professor de filosofia da ciência do Departamento de Filosofia, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP). Email: opessoa@usp.br*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mill, J.S. *A system of logic, ratiocinative and inductive*. Londres: J.W. Parker, livro III, cap. VI, pp. 425-36. 1843.
2. Lewes, G.H. *Problems of life and mind*. Vol. 2. Boston: J. Osgood, p. 412. 1875.
3. Pessoa Jr., O. "Duas tradições na sistêmica: holismo organicista e reducionismo separabilista". A sair em: Gonzalez, M.E.Q.; Portela, J.C.; Vecchio, A. (orgs.). *Informação e ação: estudos interdisciplinares*. São Paulo: Cultura Acadêmica/Unesp. 2013.
4. Bernard, C. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: J.-B. Baillière, parte II, cap. II, § 1, p. 158. 1865.
5. Healey, R. "Holism and non-separability in physics". *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Em: <http://plato.stanford.edu/entries/physics-holism/>. 2008.
6. Morgan, C.L. *Emergent evolution*. Londres: Williams & Norgate. 1923.
7. Blüth, D. *Emergent evolution*. Dordrecht: Kluwer. 1992.
8. Meehl, P.E.; Sellars, W. "The concept of emergence". In: Feigl, H.; Scriven, M. (orgs.). *The foundations of science and the concepts of psychology and psychoanalysis*. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 1. Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 239-52. 1956.
9. Lestienne, R. "Emergência e o problema mente-corpo nos estudos de Roger Sperry". Neste volume. 2013.
10. Beckermann, A.; Flohr, H.; Kim, J. (orgs.) *Emergence or reduction?* Berlin: W. de Gruyter. 1992.
11. Bedau, M.A.; Humphreys, P. (orgs.) *Emergence: contemporary readings in philosophy of science*. Cambridge (MA): MIT Press. 2008.
12. Gatti, F.G.; Pessoa Jr., O. "O debate entre as interpretações reducionista e emergentista da física". In: Silva, C.C.; Salvatico, L. (orgs.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: seleção de trabalhos do 7º encontro da AFHIC*. Porto Alegre: Entrementes, pp. 93-101. 2012.
13. Stephan, A. "Emergence: a systematic view on its historical facets". In: Beckerman et al., op. cit. (nota 10), pp. 25-48. 1992.
14. Stephan, A. "Varieties of emergentism". *Evolution and cognition*, vol. 5, pp. 49-59. 1999.
15. El-Hani, C.N.; Pihlström, S. "Emergence theories and pragmatic realism". *Essays in Philosophy*, vol. 3, nº 2, artigo 3. 2002.
16. Laughlin, R.B.; Pines, D. (2000), "The theory of everything". *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 97, p. 28-31. 2000. Republicado em Bedau & Humphreys, op. cit. (nota 11), pp. 259-68.
17. Bedau, M. "Downward causation and autonomy in weak emergence". *Principia*, vol. 6, p. 5-50. 2003. Republicado em Bedau & Humphreys, op. cit. (nota 11), pp. 155-88.
18. Okasha, S. *Evolution and the levels of selection*. Oxford: Oxford University Press. 2006.
19. Kim, J. "'Downward causation' in emergentism and nonreductive-physicalism". In: Beckerman et al., op. cit. (nota 10), pp. 119-38. 1992.
20. Bedau, M. "Is weak emergence just in the mind?". *Minds & Machines*, vol. 18, pp. 443-59.
21. Meu primeiro contato com o tema deste artigo ocorreu durante a orientação da dissertação de mestrado de Marcos Antonio Ribeiro, feita em co-orientação com Charbel El-Hani. Ver: Ribeiro, M.A. "Uma análise histórico-filosófica do conceito de emergência". Dissertação de mestrado, área de ensino, filosofia e história das ciências. Salvador: UFBA/UEFS. 2003.

## GENÔMICA E MODULARIDADE MORFOLÓGICA: COMO GENES ESPECTADORES, SINTENIA GENÔMICA E ARRASTAMENTO CONSTROEM E RESTRINGEM OPÇÕES EVOLUTIVAS EMERGENTES

Michael Crawford  
Tradução de Germana Barata

*Tenho dois pequenos embriões em espírito, para os quais esqueci de anotar os nomes, e não sou muito capaz de determinar a qual classe eles pertencem. Eles poderiam ser lagartos, pequenos pássaros, ou ser mamíferos muito jovens. O desenvolvimento da cabeça e do tronco nesses animais é tão parecida. As extremidades ainda não estão presentes nesses embriões. Mesmo que elas estivessem presentes nos primeiros estágios de desenvolvimento, elas não ensinariam nada já que as patas dos lagartos e mamíferos em desenvolvimento, as asas e patas das aves, como as mãos e pés das pessoas, possuem a mesma forma básica.*

Karl Ernst von Baer (1828)

**E**m 1979, Gould e Lewontin defenderam uma visão menos reducionista da evolução (1). Eles argumentaram que as teorias dominantes, aquelas que eram centradas no gene (neodarwinistas), colocaram ênfase indevida sobre as características individuais. Eles sugeriram que tais abordagens tendiam a confundir as consequências indiretas das decisões arquitetônicas com a característica sobre a qual a seleção natural realmente operava. Além disso, eles argumentaram que a "bagagem" de traços ancestrais reduzia a latitude disponível para a inovação morfológica. Este argumento foi posteriormente ampliado por Gould (2). Os recentes avanços na biologia genética faz com que valha a pena rever esse argumento.

Por exemplo, fica claro que as sequências reguladoras de DNA altamente conservadas do genoma se juntam em blocos maiores de regulação que podem expandir-se para englobar diversos genes. Essa tendência enfatiza o grau no qual a herança ancestral desempenha um papel em direcionar e restringir a genética que sustenta a embriogênese e a evolução, respectivamente. Os esforços recentes de sequenciamento indicaram que há um grande número de RNA que são transcritos mas não traduzidos, mas que desempenham um papel na regulação da atividade do gene. Muitos deles são transcritos de forma coordenada a partir de sequências que estão próximas a genes importantes. Juntas, essas descobertas sugerem que uma revisão da evolução, dentro do paradigma e da crítica de Gould e Lewontin, poderia revelar-se útil para iluminar como a modularidade do genoma tornou-se uma propriedade emergente que trabalha sobre a embriogênese e a evolução. Neste artigo, vamos resumir o sucesso do reducionismo, especialmente na definição das operações moleculares que regulam os genes, as células e os tecidos durante a formação do embrião. Nós, então, nos debruçaremos sobre