

O USO DO CONCEITO DE PROPRIEDADES EMERGENTES E DE CONCEITOS RELACIONADOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA DO ENSINO SUPERIOR

Thaís de Araújo Castro^a

Charbel Niño El-Hani^b

Rua Polydoro Bittencourt, 62, Boa Viagem
Salvador - BA, Brasil CEP 40415-340

Resumo

As teorias da emergência são parte de uma tradição filosófica que remonta ao começo do século XX, tendo sido a discussão a seu respeito revitalizada a partir da década de 1990, quando voltaram a merecer grande atenção de filósofos e cientistas. Alguns livros didáticos destinados ao Ensino Superior no campo das Ciências Biológicas, como, por exemplo, Campbell & Reece (2002), Ruppert & Barnes (1996) e Odum (1988), utilizam os conceitos de emergência e propriedades emergentes e outros conceitos associados ao pensamento emergentista, como os de níveis de organização e complexidade, na apresentação dos conteúdos para estudantes de Biologia. Este artigo apresenta os resultados de uma análise qualitativa do uso de tais conceitos nos livros citados, buscando dar conta dos seguintes objetivos: (i) analisar criticamente o uso destes conceitos em livros didáticos de Biologia voltados para o Ensino Superior; e (ii) avaliar a necessidade de transposição didática de alguns dos tópicos atualmente abordados nos debates filosóficos sobre o emergentismo. O pensamento emergentista pode desempenhar um papel importante no que diz respeito à integração do conhecimento trabalhado no Ensino de Biologia, contrapondo-se a uma fragmentação do conhecimento que tem sido reconhecida como um problema importante do ensino desta e de outras ciências. A análise dos livros didáticos mencionados acima forneceu apoio a esta possibilidade, dado o uso dos conceitos emergentistas em tais livros precisamente com esse papel unificador e integrador. No entanto, outro resultado importante da análise diz respeito à necessidade de que os livros ofereçam um tratamento conceitual mais apurado de algumas idéias utilizadas em conexão com o pensamento emergentista, como, por exemplo, as de irreducibilidade, imprevisibilidade e não-aditividade ('o todo é mais do que a soma das partes'). Isso levanta, contudo, o difícil problema da transposição didática de conceitos elaborados de maneira bastante complexa no discurso filosófico.

Palavras-chave: Propriedades Emergentes; Ensino Superior de Biologia; Livros Didáticos.

Introdução

O emergentismo surgiu, entre meados do século XIX e o começo do século XX, como a primeira formulação sistemática de uma posição filosófica materialista e não-reducionista (Kim 1993:338; 1996:226). O conceito de emergência possui uma história relativamente longa, tendo sido discutido, no século XIX, sem o emprego do termo 'emergência' e seus derivativos, por autores como Karl Marx, Friedrich Engels, Auguste Comte, Claude Bernard e John Stuart Mill. Ainda naquele século, G. H. Lewes desenvolveu, em *Problems of Life and*

^a Bolsista PIBIC/UFBA. Aluna do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Bahia.

^b Professor Adjunto, IB-UFBA, Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências UFBA/UEFS, Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento, UFBA.

Mind, a primeira filosofia geral baseada sistematicamente no conceito de emergência. Não obstante, foi somente no século XX que o pensamento emergentista se tornou um foco de debate filosófico, a partir dos trabalhos de Conwy Lloyd Morgan (e.g., Morgan 1923). A interpretação de propriedades, estruturas, eventos etc. como ‘emergentes’ se refere, desde então, tipicamente à idéia de algo (genuinamente) novo, que não poderia ser previsto a partir dos elementos que constituíam a condição precedente (Emmeche et al. 1997:85). Entretanto, muitos problemas filosóficos vieram a ser percebidos em conceitos como os de ‘novidade’ e ‘imprevisibilidade’, levando a críticas e reformulações importantes.

A natureza do processo evolutivo foi, por muitos anos após a publicação de *A Origem das Espécies*, motivo de debates entre biólogos evolutivos e filósofos. Foi no contexto deste debate acerca da estrutura filosófica da teoria evolutiva, na Inglaterra da segunda metade do século XIX, que o pensamento emergentista surgiu. Entre os naturalistas envolvidos nesse debate, encontravam-se Darwin, Wallace, Huxley, Spencer e Romanes. Os problemas centrais eram a natureza contínua ou descontínua da mudança evolutiva; o papel da quantidade e da qualidade na evolução; a relação entre os mundos orgânico e inorgânico; a relação entre o natural e o sobrenatural; o problema mente-corpo; e o alcance restrito ou universal do processo evolutivo (Para maiores detalhes, ver Blitz 1992:5-56).

A questão principal abordada por Morgan correspondia a um dos muitos aspectos que separavam os pensamentos de Darwin e Wallace a respeito do processo evolutivo. Enquanto Wallace defendia o surgimento de novidades qualitativas ao longo do processo evolutivo, resultando em descontinuidades no mesmo, Darwin acreditava que a evolução era um processo gradual e contínuo, no qual nada mais ocorreria senão o lento acúmulo quantitativo de variações pelo processo de seleção natural. Um dos aspectos envolvidos naquele debate, que é objeto de polêmica até o presente, consiste na relação entre as explicações de processos micro-evolutivos, que têm lugar nas populações de uma espécie, e processos macro-evolutivos, envolvendo a produção dos grandes padrões observados na história da vida na Terra. Para Darwin, a macro-evolução nada mais era que uma extrapolação do processo micro-evolutivo, desde que se considerasse a enormidade de tempo disponível para o acúmulo de variações por seleção natural (Gould 2002). Os padrões observados na história da vida na Terra poderiam ser todos atribuídos, contudo, apenas ao acúmulo de pequenas modificações ao longo do tempo? Qual poderia ser o papel, neste processo, da novidade qualitativa defendida por Wallace?

A questão central abordada por Morgan era justamente a da continuidade e descontinuidade do processo evolutivo. Ele procurou combinar, em sua teoria da evolução emergente, os pensamentos de Darwin e Wallace, preservando a crença de Darwin no caráter natural e contínuo da evolução e a idéia de Wallace de que novidades qualitativas surgiriam ao longo desse processo. Assim, a teoria de Morgan retratava a evolução como um processo que envolvia tanto continuidade quanto descontinuidade: a natureza faria saltos, em contraste com a visão de Darwin (*natura non facit saltum*), mas estes saltos seriam pontuações em um processo usualmente contínuo. Com a teoria da evolução emergente de Lloyd Morgan, a noção de emergência foi colocada pela primeira vez no centro de uma filosofia da evolução, o que resultou num debate que se estende até hoje. A partir daí, vários pensadores dirigiram a atenção para esse modo de compreender-se a evolução. Blitz (1992) demonstrou que o emergentismo pode ser visto com uma tendência ou corrente filosófica, no sentido de que é possível identificar-se uma série contínua de defensores, comentadores e críticos dessa posição. Ele distinguiu três fases na história do emergentismo: (1) o surgimento dessa corrente filosófica e o debate inicial a seu respeito, no período de 1915 a 1935, correspondendo ao que ele chama de “período clássico” do emergentismo; (2) seu “eclipse” em relação ao positivismo lógico e sua tendência reducionista, entre meados da década de 1930 e meados da década de 1950; e (3) seu ressurgimento como uma posição viável na

filosofia da ciência e na filosofia sistemática baseada na ciência, a partir da década de 1950, quando foi incorporado por filósofos da ciência como Popper e Bunge e biólogos como Mayr e Salthé, como uma alternativa legítima ao reducionismo e ao holismo. Apesar de ter sido reabilitado a partir da década de 1950, como aponta Blitz, por alguns filósofos da ciência e cientistas, o pensamento emergentista parece ter perdido, a partir do começo da década de 1980, até mesmo esta influência mais restrita, passando por um período de esquecimento quase completo, que se estendeu até o começo da década de 1990. Em 1990, a situação do debate sobre o emergentismo foi avaliada por Kim da seguinte maneira:

“O debate da emergência [...] foi de modo geral esquecido e parece ter tido efeitos insignificantes sobre os debates atuais na metafísica, filosofia da mente e filosofia da ciência, com exceção, talvez, de algumas áreas da filosofia da biologia” (Kim 1990, in Kim 1993:134).

Essa situação, contudo, se transformou nos últimos anos. Sete anos após ter afirmado que o debate sobre a emergência fora esquecido, Kim descreveu um cenário inteiramente diverso:

“... o emergentismo tem mostrado fortes sinais de ressurgimento e nós agora vemos um uso crescente e não-apologético dos termos ‘emergente’, ‘propriedade emergente’, ‘fenômeno emergente’ e assemelhados, aproximadamente no sentido pretendido pelos emergentistas clássicos, não apenas em escritos filosóficos sérios, mas também nos trabalhos de psicólogos e cientistas cognitivos” (Kim 1997:271).

Uma das razões para a revitalização do emergentismo foi o grande desenvolvimento das ciências da complexidade, áreas de investigação interdisciplinar que têm como objeto o estudo de sistemas complexos, como, por exemplo, a dinâmica de sistemas não-lineares, o estudo de sistemas adaptativos complexos, a Vida Artificial, a Inteligência Artificial e a ciência cognitiva. De um modo geral, essas ciências se ocupam das propriedades emergentes de sistemas vivos e mentais. O comportamento coletivo observado em sistemas complexos é frequentemente interpretado, nessas ciências, como um fenômeno ‘emergente’, sendo este termo cada vez mais usado e discutido, a ponto de ser possível dizer que o conceito de emergência, ainda que raramente explicado e definido, tem um papel central em tais domínios da investigação. A renovação do interesse pelo emergentismo está também relacionada à frequência com que têm sido propostas hipóteses emergentistas sobre a mente e a consciência humanas.

Este artigo relata um conjunto de três estudos de casos visando: (i) uma análise crítica do uso dos conceitos de emergência e propriedades emergentes e de outros conceitos associados ao pensamento emergentista (‘níveis de organização’, ‘complexidade’ e ‘causação descendente’) em livros didáticos de biologia voltados para o ensino superior; e (ii) uma avaliação da necessidade de transposição didática de alguns dos tópicos atualmente abordados nos debates filosóficos sobre o emergentismo. Cada estudo de caso consistiu numa análise qualitativa detalhada de um livro didático bastante utilizado no Ensino Superior de Biologia, nas áreas de Biologia Geral (Campbell & Reece 2002), Zoologia (Ruppert & Barnes 1996) e Ecologia (Odum 1988). Esta análise tornou possível discutir a contribuição destes conceitos para o ensino em áreas do conhecimento nas quais o pensamento emergentista foi particularmente influente, mas nas quais a revitalização do pensamento emergentista parece não ter ainda ocorrido de modo significativo.

A metodologia empregada consistiu na leitura detalhada do capítulo introdutório dos três livros em análise, no qual conceitos relacionados ao pensamento emergentista eram discutidos (com exceção de Ruppert e Barnes 1996, ver abaixo), e de um capítulo escolhido de maneira aleatória. Foram também examinados todos os trechos de cada um dos livros que se referiam a conceitos associados ao pensamento emergentista, a partir da análise do índice de cada volume. Cada trecho examinado foi categorizado de acordo com temas específicos

(por exemplo, ‘definição de emergência’, ‘níveis de organização’, ‘complexidade’ etc.). A cada tema, correspondia um código. A tabulação de todos os códigos tornou possível preparar um fichamento do livro no qual uma visão geral da argumentação e uma integração do conteúdo abordado nos livros foram explicitadas. Este fichamento serviu de base para a análise realizada.

O emergentismo e o ensino de Biologia

Nas últimas quatro décadas do século XX, a biologia foi caracterizada por uma tendência marcante de molecularização das explicações. A biologia molecular parecia ter deixado de ser apenas um ramo, entre vários, da biologia, para tornar-se uma maneira geral de entender os fenômenos biológicos. Deste ponto de vista, as ciências biológicas pareciam ser consideradas pouco ou nada mais do que uma aplicação da química e da física ao domínio dos sistemas vivos. Neste contexto, ganhou proeminência o debate sobre a ‘autonomia’ da Biologia em relação às ciências físicas (e.g., Mayr 1982, 1988), no qual o pensamento emergentista tem papel destacado.

Quando se considera a biologia uma ciência autônoma, não se trata, em geral, de defender uma autonomia completa desta ciência em relação à química e à física. Nenhuma defesa da autonomia da biologia pode deixar de admitir que, “caso fosse possível representar os domínios das ciências físicas e biológicas em um mapa, seria encontrada uma considerável área de superposição, particularmente ao nível molecular, onde as leis da física e da química dominam” (Mayr 1988:8). No entanto, há nas ciências biológicas “áreas igualmente importantes que *não* são superpostas pelas ciências físicas” (Mayr 1988:8). Apenas uma ciência autônoma pode estudar essas áreas adequadamente, reconhecendo que, em vista das propriedades especiais (emergentes) dos organismos, o “equipamento explanatório das ciências físicas é insuficiente para a explicação dos sistemas vivos complexos e, em particular, da inter-relação da informação adquirida historicamente e das respostas desses programas genéticos ao mundo físico” (Mayr 1982:52. Ver tb. Mayr 1988:2).

O pensamento emergentista tem sido uma das principais fontes de oposição à molecularização das ciências biológicas, destacando que o objetivo principal dessas ciências é o estudo das propriedades emergentes (observadas ao nível do sistema biológico como um todo) e da organização observada nos sistemas biológicos. A natureza da biologia é, desta perspectiva, a de uma *ciência da organização viva*. A biologia permanecerá uma ciência do organismo, mesmo que completamente explicada através de leis da química e da física (El-Hani & Emmeche; El-Hani 2000, 2002a).

É importante não perder de vista que não se está propondo que os fenômenos biológicos não demandem, para sua compreensão, micro-explicações químicas e físicas. O equipamento explanatório da química e da física, embora não seja suficiente, é necessário para a explicação dos fenômenos biológicos. Isso implica uma rejeição da molecularização da biologia, mas não do papel fundamental da biologia molecular na explicação biológica. É necessário ter na devida conta que um sistema vivo restringe as atividades das moléculas que o compõem a padrões definidos, atribuindo-lhes uma função e um significado que elas não têm quando isoladas. Logo, não se pode perder de vista os padrões de organização que tornam um ser vivo o tipo de sistema físico que ele é. Uma consequência importante desta posição filosófica é a de que se deve ter sempre em vista, no ensino de Biologia, a compreensão dos princípios organizacionais da matéria viva. Isso sugere a necessidade de enfatizar-se conceitos estruturais, que têm um papel central nesta ciência, expressando, num dado contexto paradigmático, a inteligibilidade da forma biológica (ver Gagliardi 1986; El-Hani 2002a,b). Não é apropriado conceber-se a explicação detalhada dos processos biológicos como um fim

em si mesmo. Ela deve ser entendida como uma ferramenta para compreender-se a “lógica” da organização viva. O Ensino de Biologia, entretanto, é freqüentemente caracterizado pela tentativa de transmitir aos alunos uma enorme quantidade de informações, apresentadas de maneira enciclopédica e fragmentada. Este modelo de ensino de ciências, exatamente por sua natureza enciclopédica e fragmentada, não parece capaz de suscitar nos alunos uma compreensão do significado do conhecimento biológico e tampouco de sua relevância para a compreensão do mundo atual. Os alunos não têm, em geral, como evitar a sensação de que o território das ciências biológicas é uma terra inteiramente incógnita, estranha, cheia de termos e conceitos que eles não alcançam, marcada por uma maneira de pensar que não lhes é familiar, na qual pouco ou até mesmo nada do que já conhecem pode ajudá-los a aclimatarem-se (cf. Solomon 1994).

O pensamento emergentista pode desempenhar um papel importante na integração do conhecimento trabalhado no Ensino de Biologia, contrapondo-se a uma fragmentação do conhecimento que tem sido reconhecida como um problema importante do ensino desta e de outras ciências.

O emprego de conceitos emergentistas em livros didáticos de Biologia do Ensino Superior

Comparando-se as análises individuais dos três livros didáticos, foi possível perceber diferenças relevantes no uso dos conceitos de emergência e propriedades emergentes e de conceitos relacionados em cada um deles.

O livro *Zoologia dos Invertebrados* (1996), de Edward E. Ruppert e Robert D. Barnes consiste de um estudo sistematizado dos filos que integram o grande grupo dos invertebrados e procura abordar o conjunto de formas e funções de cada um dos filos. Ele apresenta, no início de cada capítulo, uma seção que aborda a ‘emergência evolucionária’ de padrões estruturais, bem como os significados funcionais de cada um destes padrões, porém, em momento algum, os autores explicam o que vem a ser “emergência evolucionária”, limitando-se a citar exemplos, tais como a multicelularidade, os tecidos epiteliais e a compartimentalização extracelular. Verifica-se, assim, um ‘vazio’ conceitual no uso da idéia de emergência no referido livro, o que é certamente inadequado.

Os livros *Ecologia* (1988) de Eugene P. Odum e *Biology* (2002) de Neil Campbell & Jane Reece efetivamente exploram os conceitos de emergência de propriedades e propriedades emergentes. Odum utiliza claramente o pensamento emergentista como um elemento para a organização dos capítulos de seu livro. É certo que o emergentismo é discutido em ambos os livros sem que se tenha na devida conta uma série de dificuldades envolvidas. Isso pode ser explicado a partir da natureza didática dos mesmos. Afinal, nenhuma das obras consiste de um tratado sobre emergência. Não obstante, é necessário dar conta, minimamente pelo menos, de algumas das dificuldades apontadas a seguir para que a noção de emergência se torne inteligível, plausível e fértil para professores e alunos.

O princípio das propriedades emergentes é freqüentemente citado como uma razão para propor-se a existência de descontinuidades efetivas entre os níveis de organização: cada um dos níveis incluído numa estrutura de níveis válida seria caracterizado por pelo menos uma propriedade emergente, entendida como uma propriedade genuinamente nova, irreduzível às, e imprevisível a partir das, propriedades dos componentes. Esta aplicação do conceito de propriedades emergentes aparece nos livros de Odum e Campbell & Reece. As idéias de irreduzibilidade e imprevisibilidade das propriedades emergentes envolvem, contudo, dificuldades muito maiores do que sugerem Odum e Campbell & Reece. Propriedades emergentes são freqüentemente definidas como propriedades que (i) não são encontradas nas

partes de um sistema; (ii) são imprevisíveis a partir do estudo das partes do sistema; e/ou (iii) são irreduzíveis à micro-estrutura do sistema que as exhibe. Este é o tipo de definição que encontramos nos livros de Odum e Campbell & Reece. Odum recorre ao mesmo tipo de visão sobre propriedades emergentes em publicações científicas (e.g., Odum 1977). Simplesmente apelar para as idéias de imprevisibilidade e irreduzibilidade sem ao menos mencionar os problemas filosóficos envolvidos nessas idéias controversas corresponde a pensar que a mera referência a um punhado de palavras mágicas poderia ser suficiente para uma compreensão apropriada de sistemas complexos e suas propriedades. Para formular uma noção coerente de emergência, é preciso explicar o que significa dizer que uma macropropriedade é irreduzível e/ou imprevisível. As tentativas de dar um significado preciso às noções de irreduzibilidade e imprevisibilidade levam os teóricos da emergência, contudo, a enfrentar problemas difíceis e a desenvolver argumentos complexos. Não temos aqui como aprofundar a discussão sobre estes dois pontos controversos do pensamento emergentista, sendo suficiente, para os propósitos deste artigo, apontar a necessidade de uma compreensão mais consistente do que está em pauta nas tentativas de dar um significado preciso às noções de irreduzibilidade e imprevisibilidade. Tratamentos destes temas são encontrados, por exemplo, em O'Connor (1994), Kim (1997, 1999), Stephan (1998, 1999), El-Hani & Pereira (2000), El-Hani & Emmeche (2000), El-Hani (2000, 2002), El-Hani & Pihlström (2002a,b).

Em vez de focar nossa discussão diretamente nos conceitos de irreduzibilidade e imprevisibilidade, neste artigo concentramos nossa atenção sobre outro conceito, que pode ser associado a ambos, presente no tratamento do pensamento emergentista encontrado nos livros de Odum e Campbell & Reece: A referência à proposição de que o todo é maior do que a soma das partes, *i.e.*, ao conceito de não-aditividade. Trata-se de uma idéia que tem sua origem em trabalhos de J. S. Mill e Lewes, e influenciaram o pensamento emergentista desde seu início, tendo desempenhado um papel importante, por exemplo, nos trabalhos de Morgan. Eles forneceram um ponto de partida para as tentativas de resolver um problema central do pensamento emergentista: com base em quais critérios deve-se distinguir, entre as propriedades de um sistema, aquelas que são emergentes e aquelas que não o são (denominadas propriedades 'resultantes', ou 'coletivas', ou, simplesmente, 'não-emergentes'). Alguns critérios propostos na literatura são muito fortes, de modo que poucas propriedades (se é que alguma) podem ser consideradas emergentes. Outros critérios parecem inflacionários, na medida em que incluem muitas, se não todas, propriedades dos sistemas na classe das propriedades emergentes. Uma das conseqüências desta controvérsia reside numa considerável confusão acerca do que se quer dizer, exatamente, com a expressão 'propriedade emergente'.

A proposição de que 'as propriedades do todo são mais do que a soma das propriedades das partes', ou, simplesmente, de que 'o todo é mais que a soma das partes', é freqüentemente relacionada, às noções de irreduzibilidade e imprevisibilidade das propriedades emergentes. El-Hani (2000) argumenta, contudo, que o uso desta proposição não é suficiente para evitar uma interpretação reducionista, como pensam muitos autores que a consideram o princípio central do holismo. Este argumento merece uma discussão detalhada, dada a confiança depositada por Odum (1988:3) e Campbell & Reece (2002:4) na máxima de que 'o todo é maior que a soma das partes' e na idéia de 'interação' das partes como base para a irreduzibilidade. Ademais, eles não estão sozinhos na confiança exagerada nesta máxima largamente difundida, o que torna sua discussão ainda mais relevante.

O problema com esta máxima tem a ver com a caracterização precisa do 'reducionismo'. El-Hani (2000) argumenta, apoiando-se em tipologia das posições metodológicas sobre a explicação elaborada por Levine et al. (1987), que reducionistas, em termos gerais, admitem o poder explicativo das relações entre as partes, em contraste com atomistas, que somente atribuem poder explicativo às propriedades intrínsecas das partes. Um

problema freqüente na discussão sobre o reducionismo reside em uma confusão entre esta posição e o atomismo. De uma perspectiva atomista, o todo nada mais é, de fato, que um conjunto de partes constituídas de maneira não-relacional; desse modo, a proposição de que o todo é mais do que a soma das partes seria certamente rejeitada por um atomista. No entanto, um reducionista não teria qualquer dificuldade em aceitá-la, uma vez que reconhece o poder explicativo das relações entre as partes. Se for colocado em questão o significado que deve ser atribuído ao termo ‘partes’, pode-se chegar à conclusão de que há uma maneira na qual os próprios reducionistas estariam dispostos a admitir o lema que, supostamente, constituiria o princípio central do holismo. Se por “partes” entendem-se elementos com propriedades atomísticas, *i.e.*, propriedades que podem ser atribuídas a cada componente individual independentemente de todos os outros componentes, o reducionista não terá dificuldades para aceitar o lema holista. Nesse caso, o todo será, de fato, maior do que a soma de suas partes, uma vez que suas propriedades não resultam, aos olhos do reducionista, da combinação das propriedades não-relacionais das partes, mas sobretudo da interação destas últimas.

O risco de apoiar-se a crítica ao reducionismo somente na não-aditividade se torna evidente se consideramos um argumento reducionista freqüentemente usado para contrapor-se a esta idéia: a estratégia de redescrição das partes. Se as relações entre as partes forem incluídas, como propriedades relacionais, na descrição das próprias partes, pode-se afirmar que não haverá mais qualquer sentido na idéia de que o todo é mais do que a soma de suas partes, uma vez que tudo que era expresso pelo termo ‘mais do que’ no lema holista terá sido incorporado na redescrição das partes, uma vez que este lema enfoca precisamente as relações ou interações das partes, a não ser que seja interpretado em termos de uma posição dualista ou vitalista (rompendo-se, então, com as premissas naturalistas do discurso científico). Desse modo, a polêmica entre holistas e reducionistas no contexto da ciência é esvaziada, com os holistas perdendo terreno em seu esforço crítico, por não terem na devida conta o valor explicativo atribuído pelos reducionistas às propriedades relacionais.

Não se trata de um problema meramente retórico. A crítica ao reducionismo deve envolver mais do que um simples recurso às ‘relações’ entre as partes. Não é suficiente destacar a existência de interações não-aditivas dentro de um todo para suplantar uma explicação reducionista. O aspecto mais importante, no que concerne a este argumento, é o de que a redescrição das partes só é possível *post facto*, isto é, *após* a inserção das partes no todo, ou seja, após todas as relações entre elas terem sido determinadas (Levine et al. 1987:72). Todas as relações entre as partes devem estar determinadas *antes* que qualquer redescrição dessas relações como propriedades relacionais possa ter lugar. Um argumento contrário à estratégia reducionista de redescrição das relações entre as partes como propriedades relacionais das mesmas pode ser formulado, então, com base na proposição de que as condições que determinam como as partes são inseridas num dado todo devem ser conhecidas antes que as interações possam ser redescritas como propriedades relacionais (El-Hani 2000).

Mais precisamente, uma formulação não-reducionista pode ser proposta, neste caso, argumentando-se que se deve considerar não apenas as relações entre as partes, mas também as ‘condições de restrição’ que atuam sobre estas relações, sendo estas condições de restrição implicadas pelos princípios organizacionais vigentes num dado tipo de sistema natural. Condições de restrição são um tipo particular de condições de contorno, por meio das quais entidades em um nível superior restringem a atividade dos componentes no nível inferior, selecionando entre o conjunto de estados que poderiam ser realizados pelo nível inferior num tempo *t* dado, aquele que será efetivamente realizado. Qualquer sistema de nível superior é obviamente constituído pelas relações estabelecidas por seus componentes, mas não se deve perder de vista que relações são o que elas são em virtude da seleção no tempo *t* de um padrão particular entre vários possíveis, em conformidade com o estado anterior do próprio sistema de nível superior e de seu ambiente. Quando se têm na devida conta as condições de restrição,

pode-se propor que qualquer sistema é uma soma de suas partes, mas há, no fim das contas, *várias maneiras distintas de arranjar um grupo de partes para formar uma 'soma'* e cada tipo de soma, ou, em termos mais precisos, cada tipo de sistema é restringido a uma região particular de seu espaço de estados, exemplificando um conjunto particular de propriedades, que não podem ser encontradas nas próprias partes ou em outras regiões do espaço de estados onde diferentes tipos de sistemas são realizados. São estas propriedades que denominados 'emergentes'. Para maiores detalhes, pode-se examinar os artigos de Emmeche et al. (2000); El-Hani & Emmeche (2000); El-Hani & Pereira (1999, 2000); El-Hani & Videira (2001).

A discussão acima mostra, no mínimo, a cautela que é necessária ao empregar-se a proposição de que 'o todo é mais do que a soma das partes'. Talvez esta proposição, com sua referência vaga a noções como 'soma' e 'não-aditividade', constitua um ponto de tal maneira fraco, um calcanhar de Aquiles dos argumentos antireducionistas que seja melhor evitá-la, pura e simplesmente, procurando explicar a noção de emergência sem recorrer a ela.

A explicação dada por Odum e Campbell e Reece para as propriedades emergentes, não é suficiente para colocar-se de lado uma interpretação reducionista; se novas propriedades emergem graças à interação dos componentes, por que elas haveriam de ser imprevisíveis? Por que não poderiam ser explicadas em termos das propriedades e relações dos componentes? Por que deveriam ser consideradas irredutíveis? A idéia de não-aditividade e o recurso às interações das partes não são suficientes para fundar uma compreensão apropriada das noções de irredutibilidade e imprevisibilidade, e, assim, para uma compreensão adequada da emergência de propriedades. Parece mais proveitoso relacionar a emergência ao evento de que as partes adquirem novas propriedades na condição de partes de uma certa totalidade, e não à proposição obscura, no mínimo, frágil, de que o todo é maior que a soma das partes.

Isso conduz, contudo, a um difícil problema filosófico, a tentativa de explicar que tipo de influência um sistema complexo pode exercer sobre os seus componentes. Este problema tem sido chamado, desde Campbell (1974), o problema da 'causação descendente' – o problema de como um fenômeno de nível superior pode causar ou determinar ou estruturar um fenômeno de nível inferior. Este problema pode ser considerado o aspecto mais crucial das discussões contemporâneas sobre a emergência, *i.e.*, o ponto chave para a formulação consistente de uma filosofia emergentista, como argumentam, por exemplo, Campbell (1974), Kim (1992, 1993, 1999, 2000), Emmeche et al. (1997, 2000), Azzone (1998), El-Hani & Pereira (1999, 2000), El-Hani (2000, 2002, 2003), El-Hani & Emmeche (2000) e El-Hani & Videira (2001). Embora não tenhamos como explorar este problema e todas as suas implicações em detalhe no contexto deste artigo, teceremos alguns comentários, de modo a esclarecer as dificuldades envolvidas nas tentativas de solução encontradas na literatura, e, sobretudo, os problemas que a complexidade do tratamento filosófico do problema, central para o uso da idéia de emergência, suscita ao pensarmos na possibilidade de sua transposição didática.

O problema da causação descendente é de difícil, talvez impossível, solução em uma visão *materialista/naturalista* que admita apenas causalidade eficiente estrita (Emmeche et al. 2000; El-Hani & Emmeche 2000; El-Hani & Pereira 1999, 2000; El-Hani & Videira 2001). A influência de um evento, uma propriedade ou uma entidade de nível superior sobre os componentes no nível inferior dificilmente pode ser entendida como uma causa eficiente. As relações entre um sistema e suas partes são simultâneas, e não seqüenciais, e um evento causal eficiente tipicamente envolve uma série temporal de causas e efeitos. Por exemplo, numa célula, como um construto bioquímico, qualquer processo que tem lugar ao nível celular é, *ao mesmo tempo*, um processo bioquímico. Quando pretendemos compreender em que sentido uma célula poderia 'governar' ou 'influenciar' os processos bioquímicos em andamento em seu interior, a idéia de uma causação descendente de natureza eficiente não parece ter qualquer utilidade, visto que nada mais veremos a não ser reações bioquímicas individuais, se

estivermos buscando interações causais eficientes. O conhecimento biológico contemporâneo não inclui qualquer processo por cujo intermédio a célula ‘como tal’, ‘enquanto célula’, possa causar qualquer evento, no modo causal eficiente, no nível bioquímico. Para compreender em que sentido uma célula poderia ‘governar’ ou ‘influenciar’ de modo descendente sua bioquímica, outros modos causais devem, portanto, ser considerados. Esta idéia é favorecida, inclusive, pelo uso de explicações funcionais na biologia, envolvendo uma referência implícita às relações parte-todo (ver Cummins [1975]1994), e pela referência freqüente às idéias de padrão, estrutura, forma e organização nas ciências biológicas.

A partir da conclusão de que a compreensão da causação descendente requer o concurso de outros modos causais, Emmeche et al. (2000) sugerem que uma interpretação aristotélica da causalidade poderia ajudar-nos a entender a natureza da influência causal de um todo sobre suas partes. Esta sugestão veio juntar-se a outras tentativas de utilizar noções causais aristotélicas como fonte de inspiração para a compreensão dos sistemas biológicos (por exemplo, Salthe 1985, 1993; Riedl 1997; Van de Vijver et al. 1998). Para Emmeche e colaboradores, o pensamento emergentista demandaria uma reavaliação de noções causais clássicas, resultando em uma espécie de abordagem neo-aristotélica. Eles reinterpretem os modos causais aristotélicos como segue: a *causalidade eficiente* consiste em uma relação de causa-e-efeito envolvendo troca de energia mediante a interação de entidades classificadas em um dado nível e resultando em uma seqüência temporal de estados relacionados de maneira causal; a *causalidade material* se refere às propriedades imanentes nas entidades de um dado nível; a *causalidade formal* corresponde à forma ou ao padrão no qual os componentes de uma dada entidade ou de um dado processo estão arrançados; a *causalidade funcional* consiste no papel desempenhado por um parte dentro de um todo integrado de processos, ou no propósito de um comportamento conforme visto da perspectiva das chances de um sistema de permanecer estável ao longo do tempo (Emmeche et al. 2000:17). Eles identificam três versões da causação descendente, baseadas em diferentes interpretações dos modos causais envolvidos (causação descendente forte, média e fraca). Na versão média, que mais nos interessa aqui, a causação descendente é entendida como um tipo de causalidade formal. Dado que o conjunto de relações possíveis entre os componentes é sempre *restringido* (ou *constrangido*) quando eles se tornam parte de um sistema de nível superior, a *modificação* sofrida pelas partes de um sistema complexo (a influência causal descendente) pode ser compreendida como uma *restrição implicada por ser parte de um padrão* (Emmeche et al. 2000; El-Hani & Pereira 2000; El-Hani & Emmeche 2000; El-Hani & Videira 2001; El-Hani 2000, 2002, 2003). Uma entidade de nível superior (e seu ambiente, no caso de sistemas abertos) *constrange* o desenvolvimento dos processos no nível inferior ao longo de sua evolução temporal, *selecionando* o conjunto particular de relações entre as partes que será exemplificado em cada tempo t_i , entre todos os conjuntos possíveis que poderiam ser exemplificados naquele instante.

Assim, um conjunto específico de propriedades emerge em um dado tipo de sistema *pelo simples fato de que se trata daquele tipo de sistema, restringido a uma região particular do espaço de todos os estados possíveis*. Nada mais é necessário para explicar a emergência (que perde, portanto, sua natureza misteriosa) do que chamar a atenção para o fato de que um dado sistema sempre exemplifica um subconjunto particular de seus estados possíveis e, assim, realiza um conjunto de propriedades que não são encontradas nas partes em si mesmas ou em outras regiões do espaço de estados (ou até mesmo em diferentes espaços de estados), nas quais diferentes modos de organização são realizados. Esta nos parece uma maneira mais clara e consistente de explicar a emergência de propriedades, em comparação com o simples emprego da tese de que o todo é maior do que a soma de suas partes, privilegiada pelos livros didáticos analisados que procuram explicar as propriedades emergentes.

Cabe perguntar, então, se os livros didáticos teriam como fazer melhor. Parece-nos que é preciso reconhecer o valor de os autores terem buscado meios de propiciar uma integração do conhecimento biológico. É interessante, também, que eles tenham se apoiado, ao menos em parte, no pensamento emergentista com este intuito. É no contexto, então, deste reconhecimento que as críticas acima foram desenvolvidas. Ainda assim, ater-se apenas a críticas não é adequado, sendo necessário avançar na busca de soluções para os problemas encontrados. É neste sentido que o projeto de pesquisa ao qual está vinculado o presente artigo teve continuidade com a construção (em andamento) de um tutorial sobre emergência na rede internacional de computadores, no qual buscamos, a partir de exemplos biológicos, elucidar os conceitos de emergência, propriedades emergentes e causação descendente.

Holismo e reducionismo na Biologia

Odum e Campbell & Reece também discutem o uso de abordagens holísticas e reducionistas na Biologia. Os autores de ambos os livros afirmam que é necessário buscar um equilíbrio entre o emprego dessas duas abordagens. Na visão destes autores, na hierarquia biológica a dissecação de uma entidade de nível superior em seus componentes não permite, em muitos casos, uma compreensão apropriada. Segue disso ou um compromisso holista, de acordo com o qual o conhecimento do todo é necessário e suficiente para o conhecimento das partes, ou por falta de um termo melhor, uma posição ‘antireducionista’ (para uma discussão dos problemas referentes a esse termo, ver El-Hani 2000), de acordo com a qual o conhecimento das partes é necessário mas não suficiente para o conhecimento do todo e o conhecimento do todo é necessário mas não suficiente para o conhecimento das partes, o que torna necessária a aplicação de métodos sintéticos (ainda em estado incipiente de desenvolvimento) lado a lado com métodos analíticos.

O problema do desenvolvimento de métodos sintéticos apropriados pode ser discutido com proveito a partir de uma obra que teve grande influência sobre a discussão a respeito das teorias de níveis, nas últimas décadas do século XX, *Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation*, de Stanley Salthe (1985). Salthe propõe um ‘sistema triádico básico’ para a representação e explicação de entidades numa hierarquia de níveis: Deve-se considerar uma dada entidade ou um dado sistema no seu próprio nível de existência, o nível focal; analisá-la em termos de suas partes no nível imediatamente inferior; e examina-la em termos das entidades no nível imediatamente superior, no qual ela entra por meio de síntese. Na visão de Salthe, o sistema triádico básico propicia uma maneira adequada para representar um sistema dinâmico de maneira hierárquica.

Salthe também contribui para uma compreensão mais precisa das condições de restrição em operação num dado tipo de sistema, ao afirmar que, no sistema triádico, tanto o nível inferior como o superior produzem efeitos que restringem a dinâmica do nível focal. No nível inferior, as condições de restrição correspondem às possibilidades ou condições iniciais para o evento emergente, enquanto as restrições no nível superior estão relacionadas ao papel de ambiente que este desempenha, determinando as condições de contorno que subordinam ou regulam a dinâmica do nível focal. Os debates contemporâneos sobre a emergência têm muito a ganhar com uma consideração cuidadosa dos argumentos de Salthe. De acordo com este autor, o que emerge no nível focal é produto de um compromisso entre processos que ocorrem no próprio nível focal e processos que têm lugar nos níveis imediatamente anterior e posterior. Os fenômenos observados no nível focal devem estar entre as possibilidades suscitadas pelos componentes no nível imediatamente anterior, i.e., eles têm “... de encontrar-se [...] entre as possibilidades engendradas pelas permutações de condições iniciais possíveis estabelecidas no nível imediatamente anterior” (Salthe 1985:101). Entretanto, o contexto ou ambiente no qual

a entidade em questão se encontra, que pode ser descrito no nível imediatamente superior (embora nem sempre esta seja a escolha mais natural), tem um papel tão importante quanto as condições iniciais, porque seleciona, entre os estados potenciais engendrados pelos componentes, aqueles que serão efetivamente realizados: “O que realmente emergirá será guiado pelas combinações das condições de contorno impostas pelo nível imediatamente superior” (Salthe 1985:101).

O sistema triádico básico de Salthe e o pensamento emergentista, ao qual a própria contribuição de Salthe está relacionada, oferecem subsídios para a busca do equilíbrio entre abordagens globais (ou holísticas) e analíticas (ou reducionistas), conforme defendido por Odum e Campbell & Reece. O sistema triádico básico também se mostra uma ferramenta útil para o Ensino de Ciências, visto que parece ser capaz de propiciar ao aluno condições para a construção de uma visão mais integrada e estruturada do corpo de conhecimentos biológicos, suscitando o entendimento da Biologia como uma ciência da organização viva, e não apenas de partes mais ou menos isoladas dos sistemas biológicos.

Conclusão

Considerando-se um dos objetivos do presente artigo, a análise crítica do uso de conceitos associados ao pensamento emergentista nos livros didáticos investigados, pode-se concluir que estes conceitos desempenham em tais livros um papel didático importante, que está relacionado, por sua vez, a uma tentativa de integrar o conhecimento biológico ensinado. Particularmente, este uso merece destaque no livro de Odum. A discussão sobre o pensamento emergentista e as relações entre holismo e reducionismo é utilizada por Odum como base para a organização dos demais capítulos de seu livro. Odum utiliza, portanto, o pensamento emergentista como um dos critérios para a organização do texto didático.

Os livros analisados fornecem, assim, um testemunho do potencial didático do pensamento emergentista no ensino de biologia. No entanto, eles também explicitam uma dificuldade associada ao uso do pensamento emergentista no contexto escolar. A discussão feita acima do tratamento das propriedades emergentes nos três livros analisados demonstra a necessidade de transpor para o conhecimento escolar alguns tópicos do debate sobre a emergência que não foram contemplados por eles. Brevemente, o conceito de ‘transposição didática’ se refere à passagem do saber sábio ao saber ensinado (Chevallard 1991:22), reconhecendo que, para que o ensino de um determinado elemento do conhecimento seja possível, é preciso que este sofra certas transformações que tornem viável ensiná-lo no contexto escolar. O saber ensinado é, pois, necessariamente distinto do saber sábio (Chevallard 1991:16-17). O que se coloca, então, como objetivos da investigação subsequente são as seguintes perguntas: (i) Como transformar os argumentos envolvidos numa explicação mais aprofundada da emergência em parte do conhecimento escolar de Biologia (quicá, de outras ciências)?; e (ii) Considerando-se a necessidade de uma vigilância epistemológica (Chevallard 1991), em que medida isso afastará o saber ensinado nesse campo do conhecimento de sua origem no discurso filosófico sobre a emergência?

A transposição didática de alguns tópicos dos debates contemporâneos sobre a emergência (em particular, a explicação da causação descendente) é necessária, em nossa visão, para que se evite uma interpretação ingênua do pensamento emergentista, na qual não sejam reconhecidas as dificuldades que cercam esta maneira de pensar e os argumentos que procuram fazer frente a esta dificuldade. É impossível, contudo, simplesmente reproduzir os debates filosóficos e científicos sobre a emergência no contexto escolar, sendo preciso investigar meios de realizar a transposição didática de elementos selecionados deste debate, avaliando-se criticamente a acessibilidade de tais elementos para os alunos.

Referências bibliográficas

- CAMPBELL, N. A. & REECE, J. B. (2002). **Biology**. San Francisco: The Benjamin/Cummings Publ. Co. 6^a Ed.
- CHEVALLARD, Y. (1991). **La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado**. Buenos Aires: Aique.
- EL-HANI, C. N. (2000) **Níveis da Ciência, Níveis da Realidade**, FE-USP, São Paulo. Tese de Doutorado.
- EL-HANI, C. N. 2002a. **Uma Ciência da Organização Viva: Organicismo, Emergentismo e Ensino de Biologia**. In Epistemologia e Ensino de Ciências, edited by SILVA Filho, W. J. Vol. 1, 199-244. Salvador-BA: Arcadia/UCSal.
- EL-HANI, C. N. 2002b. **Sistema Triádico Básico: Um Referencial Heuristicamente Fértil para o Ensino de Biologia**. VIII EPEB - Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia - Biologia e Cidadania: Contextos de Ensino e Produção Científica São Paulo-SP: FE-USP/EDUSP.
- EL-HANI, C.N. & EMMECHE, C. (2000) “**On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation**”, *Theory in Biosciences* 119, 234-275.
- EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (2001) **Causação descendente, emergência de propriedades e modos causais aristotélicos**. *Theoria* 16(2):301-329.
- EMMECHE, C.; KÖPPE, S.; STJERNFELT, F. (2000) Levels, emergence and three versions of downward causation. In: ANDERSEN, P. B.; EMMECHE, C.; FINNEMANN, N. O.; CHRISTIANSEN, P. V. (eds.) **Downward Causation: Minds, Bodies and Matter**, Aarhus University Press, Aarhus. pp. 13-34.
- GAGLIARDI, R. (1986) **Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigacion**. *Enseñanza de las Ciências* 4(1):30- 35.
- MAYR, E. (1988). **Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist**. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- MORGAN, C. L. (1923) **Emergent Evolution**, Williams and Norgate, London.
- ODUM, E. P. (1988). **Ecologia**. Traduzido por Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara.
- RUPPERT, E. E; BARNES, R. D. (1996). **Zoologia dos Invertebrados**. São Paulo: Ed. Roca. 6^a ed..
- SALTHER, S. N. (1985). **Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation**. New York: Columbia University Press.
- STEPHAN, A. (1998) Varieties of Emergence in Artificial and Natural Systems, *Zeitschrift für Naturforschung* 53c, 639-656.