



Reduccionismo, emergentismo e ensino de ciências

Reductionism, emergency and science teaching

Rodrigo de Siqueira Bicudo¹ , Ricardo Roberto Plaza Teixeira^{1,*}

1. Instituto Federal de São Paulo – Caraguatatuba (SP), Brasil.

Autor correspondente: rteixeira@ifsp.edu.br

Editor de seção: Maria Consuelo Alves Lima

Recebido: 26 Jan. 2022 | **Aprovado:** 27 Jun. 2022

Como citar: BICUDO, R. S.; TEIXEIRA, R. R. P. Reduccionismo, emergentismo e ensino de ciências. *Ensino & Multidisciplinaridade*, São Luís (MA), v. 8, n. 1, e0722, 2022. <https://doi.org/10.18764/2447-5777v8n1.2022.7>

RESUMO

O presente artigo objetivou investigar os significados dos conceitos de reduccionismo e emergência no campo científico e o modo como esses conhecimentos podem colaborar para atividades educacionais. Diferentes disciplinas podem empregar esses conceitos para estimular o debate científico e o uso de argumentos lógicos. O debate em torno dessa dualidade gerou defensores de ambos os lados, principalmente a partir dos anos 1970, entretanto a sua natureza filosófica não se limita a uma discussão apenas no âmbito acadêmico; também tem consequências para a área da educação. Assim, é importante explorar a possibilidade de usar os desdobramentos dessa questão como temas centrais em atividades de ensino. Trabalhos relevantes foram selecionados e examinados do ponto de vista dos conhecimentos que agregavam para a fundamentação teórica de ações de caráter didático. Foi realizada uma pesquisa na internet por meio de determinados descritores no site de busca Google Acadêmico para estimar de modo aproximado o volume de pesquisas em algumas subáreas específicas consideradas ao longo desta investigação. Foi constatado que há mais pesquisas sobre reduccionismo na biologia do que em outras disciplinas, bem como que se tem mais trabalhos acerca da origem da vida do que da origem da consciência.

Palavras-chave: Métodos Científicos. Filosofia da Ciência. Vida. Consciência.

ABSTRACT

The present paper aimed to investigate the meanings of the concepts of reductionism and emergence in the scientific field and how this knowledge can contribute to educational activities. Different disciplines can use these concepts to stimulate scientific debate and the use of logical arguments. The debate around this duality generated supporters on both sides, especially from the 1970s onwards. However, its philosophical nature is not limited to a discussion only in the academic sphere; it also has consequences for the area of education. Thus, it is important to explore the possibility of using the developments of this issue as central themes in teaching activities. Relevant works were selected and examined from the point of view of the knowledge they added to the theoretical foundation of didactic actions. An internet search was carried out using certain descriptors on the search engine Google Scholar to roughly estimate the volume of research in some specific sub-areas considered throughout this investigation. It was found that there is more research on reductionism in biology than in other disciplines, as well as more work on the origin of life than on the origin of consciousness.

Keywords: Scientific Methods. Philosophy of Science. Life. Conscience.

INTRODUÇÃO

Este artigo teve como objetivo investigar os significados dos conceitos de reducionismo e emergência no campo científico, bem como analisar as possibilidades didáticas do trabalho envolvendo o debate sobre esses conceitos no ensino de ciências. A investigação realizada procurou explorar as formas como os conceitos associados a esses dois temas podem contribuir para um maior esclarecimento a respeito da natureza da ciência, entre outros motivos, também para mitigar pensamentos anticiência, que, de modo crescente, estão se inserindo na sociedade, particularmente por meio de redes sociais (SCHERMA; MIRANDA, 2020), o que também se deve a uma compreensão inadequada de como funciona a ciência.

Entender com profundidade o debate filosófico e científico envolvendo os dois tópicos centrais da presente pesquisa, reducionismo e emergência, pode contribuir, de maneira efetiva, para a elaboração de propostas educacionais e de divulgação científica que visem à melhor compreensão sobre como se dá a produção do conhecimento científico, algo vital para a educação científica (OKI; MORADILLO, 2008).

O debate entre reducionistas e emergentistas envolve a questão de como as partes que compõem determinado sistema em certo nível inferior da natureza se agregam de modo a compor um nível superior da natureza. Um exemplo é a forma como as moléculas se agregam para produzir a vida. O problema sobre como as partes interagem para formar dada totalidade se relaciona diretamente à questão a respeito da estrutura hierárquica da ciência. Esse debate em termos mais básicos está ligado à oposição entre duas afirmações: “o todo nada mais é que a soma das partes” e “o todo é maior que a soma das partes”, ou, de modo equivalente, “partes se comportam de modo diferente dentro do todo” (GILLET, 2016).

Reduccionismo

O trabalho que Steven Weinberg (1933-2021) realizou na física de partículas, nos anos 1960, apontou na direção do reducionismo. O físico foi um dos responsáveis pela unificação de duas das quatro interações fundamentais da natureza, a interação eletromagnética e a força nuclear fraca. Weinberg ganhou notoriedade com a publicação de livros de divulgação científica voltados para o público leigo que defendiam a busca pela chamada “teoria de tudo” (BARROW, 1994) e que, possivelmente, pela pretensão implícita e pelo apelo de como foi nomeada, ajudou a ideia a ganhar popularidade. Para ele, a compreensão da natureza que repousasse em qualquer distinção fundamental entre o mundo das escalas subatômicas (micromundo), o mundo de escalas médias (próximas da ordem do tamanho de um ser humano) e o mundo das escalas cosmológicas (da ordem das distâncias intergalácticas, por exemplo) seria insatisfatória (WEINBERG, 1988).

O reducionismo, portanto, é uma corrente do pensamento segundo a qual, de modo geral, objetos e fenômenos complexos podem ser reduzidos e explicados com base na natureza e no comportamento dos seus componentes, ou seja, das suas partes constituintes (RAMOS; TEIXEIRA; BARBOSA, 2020). A hipótese básica do reducionismo de que nossos corpos e mentes são controlados pelo mesmo conjunto de leis fundamentais que atua em tudo o que existe no universo é muito forte no âmbito científico, mesmo que assumida apenas implicitamente. Para os reducionistas, os fenômenos de certo nível (superior) são uma consequência inevitável e dedutível dos fenômenos de um nível inferior (MAYR, 1998).

O reducionismo científico está relacionado com o modo como se pensa a estrutura da natureza (GILLET, 2016). Segundo Bastos Filho (2005), há basicamente dois tipos de reducionismo: existe o reducionismo do tipo metodológico, que está ligado às idealizações que os cientistas fazem para tornar a realidade mais acessível à nossa razão, com a consciência de se tratar de simplificações artificiais; e, por outro lado, há o reducionismo de caráter epistemológico, que considera que é uma característica própria da natureza a redução a diferentes níveis de descrição hierarquizados, que representam propriedades fundamentais da natureza.

Ao reduzirmos uma propriedade na física, por exemplo, reconstruímos o conceito que a ela se refere e deixamos de conceber essa propriedade como uma propriedade intrínseca, passando a concebê-la como extrínseca (ABRANTES, 2005). Esse é o caso da temperatura de um gás, que pode ser encarada, em termos da mecânica estatística, como uma medida da energia cinética média das moléculas desse gás. A noção de redução – a ideia de que um todo se reduz às suas partes – depende de duas dimensões, que devem ser analisadas concomitantemente: os tipos de parte que estão redutivamente vinculados a um todo; e a natureza das inter-relações e dos vínculos existentes entre essas partes (VAN GULICK, 2001). A questão do reducionismo é debatida de modo mais intenso – e crítico –, sobretudo no âmbito da filosofia da biologia (MAYR, 1998).

Emergentismo e complexidade

Philip Anderson posicionou-se de modo contrário às ideias reducionistas, em seu artigo publicado em 1972 intitulado “More is different” (“Mais é diferente”). Segundo ele, em diversas situações, o comportamento de grandes conjuntos de entidades ou partes não pode ser entendido em termos de uma simples extrapolação das propriedades de algumas poucas dessas entidades. Em vez disso, em cada nível de complexidade, propriedades inteiramente novas aparecem (“emergem”), e a compreensão dos novos comportamentos requer uma pesquisa que é tão fundamental na sua natureza como qualquer outra (ANDERSON, 1972).

Dois casos específicos destacam-se nas pesquisas sobre o emergentismo: os estudos acerca do surgimento da vida pela matéria inanimada e aqueles a respeito do surgimento da consciência por meio da matéria biológica, nos seres vivos, de maneira especial nos seres humanos. Do mesmo modo, também são importantes os estudos da emergência das ciências sociais com base nos agrupamentos de muitos seres humanos e do surgimento da química pelas leis da física. De acordo com o paradigma emergentista, as propriedades emergentes são não estruturais e podem ser consideradas *sui generis*, pois não estão relacionadas fundamentalmente a conceitos como os de constituição, identidade ou causação (WONG, 2010). Assim, a emergência está ligada a determinados fenômenos que surgem de outros fenômenos considerados mais básicos, mas que são, simultaneamente, autônomos no que concerne a essa base.

Nas situações em que ocorre a emergência de alguns tipos de fenômeno, as explicações podem não estar no comportamento das partes, mas sim no comportamento coletivo (LAUGHLIN, 2005). É necessário, portanto, compreender como se dá a agregação complexa associada a uma coletividade, de modo a entender a relevância e os limites do ponto de vista estrutural – no que diz respeito à noção de composição e à relação existente entre parte e todo –, para a compreensão da natureza.

Ainda que os termos emergência, complexidade e holismo estejam contaminados, pelo menos para alguns, de um viés metafísico (ou, até mesmo, místico e sobrenatural), são termos usados de forma ampla nos debates travados no âmbito da filosofia da ciência (MAYR, 1998). Portanto, pelo modo como a emergência surgiu, de forma generalizada e disseminada no mundo, nos mais diferentes tipos de situação, é importante que o emergentismo seja estudado com rigor e respeito, superando as resistências existentes em alguns meios que o consideram um conceito excessivamente opaco (BEDAU; HUMPHREYS, 2008), até mesmo para compreender melhor e investigar as alegações centrais do emergentismo científico (GILLET, 2016).

O conceito de emergência associa-se a sistemas com a peculiaridade de que as características do todo não podem ser deduzidas do conhecimento das partes nem mesmo teoricamente. Para o paradigma emergentista, a redução explicativa é muitas vezes incompleta, de maneira especial no caso de características novas e não previstas que emergem de sistemas hierárquicos em níveis superiores de complexidade (MAYR, 1998).

O holismo basicamente defende a ideia de que objetos e fenômenos têm propriedades como um todo que não são explicáveis com base apenas nas propriedades de suas partes. Um sistema holístico que se organiza e se articula como um todo não pode ser considerado simplesmente como um amontoado de partes (PESSOA JR., 2013a). Segundo o paradigma holista, para se compreender algo, é necessário buscar suas características globais, que prevalecem sobre as características das partes que compõem a totalidade em questão.

As ciências da complexidade preocupam-se com as propriedades emergentes que estão associadas a comportamentos coletivos, como ocorre nos casos dos sistemas vivos e mentais. Especialmente nessas áreas do conhecimento, o conceito de emergência tem tido papel central em um número crescente de pesquisas (EL-HANI, 2000). Assim, sistemas complexos precisam ser estudados em cada nível específico que é dotado de propriedades que não aparecem nos níveis inferiores (MAYR, 1998).

A complexidade trata da incompletude do conhecimento, pois procura compreender as articulações fragmentadas entre as várias disciplinas científicas. Complexo significa terminologicamente aquilo que foi tecido em conjunto, um tecido de ações, interações e retroações que constituem o nosso mundo fenomenal. A complexidade tenta assim superar a fragmentação do conhecimento humano nas suas diversas dimensões (MORIN, 2005). Embora as características emergentes de um todo complexo não sejam completamente independentes das de suas partes, uma vez que elas emergem dessas partes, a noção de emergência implica que, de algum modo, as características do todo vão além das características das partes (VAN GULICK, 2001).

Reduccionismo, emergentismo e as diversas ciências

Pela análise da história da ciência, é possível exemplificar a ideia de unificação pela explicação que Isaac Newton (1643-1727) deu para os movimentos celestes, com base em um conjunto de leis fundamentais que também se aplicam aos corpos aqui na superfície da Terra, no denominado mundo sublunar. Outro exemplo no mesmo sentido é o trabalho de James Clerk Maxwell (1831-1879). As quatro equações de Maxwell estabeleceram as bases do eletromagnetismo, que unificou a eletricidade, o magnetismo e a óptica em uma única estrutura teórica (ZYLBERSZTAJN, 2003). Essa unificação também teve características de redução. O reduccionismo, historicamente, guarda relações de proximidade com outras correntes de pensamento próximas da física, como o mecanicismo, o determinismo e o atomismo.

A filosofia da ciência teve sua base inicial estabelecida solidamente na física e, de maneira especial, na mecânica, que surgiu com a revolução científica do século XVII (MAYR, 1998), sendo este um fator que influenciou e continua influenciando a concepção que muitos desenvolvem sobre a natureza da ciência e suas características. Uma parte dos físicos é reducionista até pelo modo como os conhecimentos consolidados na física são estruturados (LAUGHLIN, 2005), ou seja, pela forma como se faz ciência no caso da física. Assim, tendo esse paradigma em mente, ao se verem diante da necessidade de produção de novos saberes, muitos reagem defendendo que devam ser feitos extensões ou suplementos ao reduccionismo cotidiano, em vez de sua substituição por outros tipos de abordagem.

Explicações composicionais ou redutivas baseiam-se em mostrar como entidades de nível inferior de um tipo (indivíduos, propriedades ou processos) compõem entidades de tipos muito diferentes em níveis superiores (GILLET, 2016). Segundo essas explicações composicionais, tudo na natureza é composto de entidades, que, por sua vez, são formadas por outras entidades, que novamente são compostas de ainda outras entidades, até chegarmos às entidades mais fundamentais que conhecemos na física: as partículas elementares.

Entretanto, mesmo que as entidades elementares de uma ciência A obedeçam às leis de outra ciência B, esse fato hierárquico não implica que a ciência A seja apenas uma aplicação de B ou que A seja redutível a B, pois a cada estágio e em cada nível são necessários novos conceitos e leis de caráter explicativo. Assim, quando pensamos na origem da consciência e na origem da vida, para citar dois exemplos recorrentes, é essencial compreendermos que a psicologia não é uma forma de biologia aplicada, nem a biologia é uma forma de química aplicada (ANDERSON, 1972).

É possível imaginar as ciências como organizadas aproximadamente em uma hierarquia linear: física de partículas, física do estado sólido, química, biologia molecular, biologia celular, fisiologia, neurociência, psicologia e ciências sociais. Contudo, apesar de as entidades elementares de uma ciência obedecerem aos princípios da ciência que as precedem na hierarquia, isso não implica que dada ciência seja tão somente uma versão aplicada da ciência mais básica. Se assim fosse, no limite, tudo poderia ser explicado direta ou indiretamente apenas como uma aplicação da física de partículas.

Níveis de organização emergentes de maior complexidade, tais como células vivas, redes neurais, cérebros, organismos multicelulares, ecossistemas, cidades e sociedades, são afetados por múltiplos circuitos de retroalimentação no seu próprio nível, o que acarreta a existência de limites para o reduccionismo (JOHNSON, 2003; HUBER et al., 2013).

Para as ciências humanas que estão no topo da escala hierárquica de complexidade, a insuficiência do paradigma reducionista também se manifesta, mesmo entre elas próprias: por exemplo, as ciências sociais não são meramente uma forma de psicologia aplicada (SCHULZ, 2021).

Mesmo as leis de Newton, muito associadas ao determinismo e ao reduccionismo, paradoxalmente, têm caráter emergente, em certa perspectiva, de acordo com a física desenvolvida no século XX, pois não são fundamentais, mas uma consequência da agregação da matéria quântica em fluidos e sólidos macroscópicos, ou seja, um fenômeno organizacional de caráter coletivo (LAUGHLIN, 2005).

A realidade cotidiana em que os seres humanos vivem é um fenômeno de organização coletiva. As fases ou estados da matéria (sólido, líquido, gasoso) são casos de emergência bem conhecidos, nos quais a propriedade coletiva não se aplica a uma molécula isolada (PESSOA JR., 2013b). Isso evidencia que a natureza tem paredes entre escalas diferentes: regras microscópicas podem ser perfeitamente verdadeiras e ainda assim bastante irrelevantes para fenômenos macroscópicos, seja porque o que medimos é insensível a eles, seja porque o que medimos é extremamente sensível a eles. Entrelaçamento quântico, supercondutividade e comportamento metálico são também fenômenos físicos com características emergentes.

No caso específico das ciências da vida, as tentativas de reduzir conceitos e fenômenos biológicos às leis da física raramente produziram avanços reais na compreensão desses conceitos e fenômenos (MAYR, 1998). A biofísica, por suposto, não é uma tentativa de redução, mas sim um campo de interlocução acerca de relações entre a física e a biologia. Pelas suas características, a biologia é uma ciência autônoma em relação à física. Leis de caráter universal não são tão importantes na biologia quanto o são na física. Logo, não é razoável exigir a existência de leis como um critério demarcador do que pode ser considerado ciência, e o mesmo cenário vale para diversas outras ciências, incluindo as ciências humanas. No caso da biologia, as generalizações, organizadas em uma estrutura conceitual, têm uma natureza mais probabilística do que fundamentada em princípios universais, sendo explanatórias no que diz respeito aos eventos do passado – e, portanto, com caráter histórico –, mas não sendo preditivas para o futuro, como ocorre com a física, a não ser em um sentido estatístico (EL-HANI, 2000).

Essa posição contrapõe-se a um tipo de fisicalismo extremo (associado a uma visão reducionista igualmente extrema), à ideia de que os diversos campos do conhecimento, até mesmo a biologia e as ciências humanas, devem considerar a física na condição de paradigma científico universal, pela suposição de que todos os aspectos da realidade, incluindo aqueles biológicos, mentais ou sociais, somente adquirem plena compreensibilidade se forem analisados como realidades físicas. Essa forma de fisicalismo extremo sustenta a tese de que o mundo real não é apenas em grande parte físico; é inteira e tão somente físico (JACKSON, 1986).

A noção de complexidade na biologia está associada à ideia de que cada sistema orgânico é tão rico em retroalimentação e nos caminhos múltiplos possíveis que uma descrição completa mediante a redução às suas partes é impossível. Além disso, a análise reducionista de um sistema desse tipo implicaria na sua própria destruição, o que impediria a sua realização (MAYR, 1998).

O pensamento científico precisa incorporar temas como o da auto-organização na descrição dos sistemas dinâmicos. A física clássica enfatiza a estabilidade e a permanência, entretanto esses são aspectos limitados da realidade, que se manifesta majoritariamente por processos evolucionários que produzem diversificação e crescente complexidade, como é o caso sobejamente da biologia. Os sistemas biológicos são sistemas complexos por excelência, e entre eles o cérebro humano consiste em um dos sistemas mais complexos que podem ser concebidos (VASCONCELLOS; RODRIGUES; LUZZI, 2015).

O estudo termodinâmico dos fenômenos irreversíveis colaborou para a estruturação do conceito de estruturas dissipativas – as estruturas moleculares que surgem em sistemas químicos que estão longe do equilíbrio termodinâmico – e para o desenvolvimento de um diversificado escopo de pesquisas sobre sistemas físico-químicos que ainda não atingiram o equilíbrio termodinâmico com o ambiente, uma contribuição decisiva para o conceito de complexidade. A ideia termodinâmica de um tempo irreversível e unidirecional que aponta do passado para o futuro faz com que a lógica dos processos irreversíveis de sistemas longe do equilíbrio não seja uma lógica do equilíbrio, mas sim narrativa e, portanto, histórica, associada às inter-relações estabelecidas entre eventos locais e a emergência de características globais e coerentes que integram a multiplicidade dessas histórias locais (PRIGOGINE, 1992).

A emergência é especialmente relevante quando os sistemas exibem características como historicidade, não linearidade, quebras de simetria e auto-organização, tais quais, por exemplo, fenômenos climáticos como furacões. Outro exemplo de sistemas complexos são aqueles estudados pela ecologia, que apresentam características inerentemente irredutíveis e necessitam, portanto, de métodos específicos e diferentes dos métodos usados pela física. Enquanto em geral os problemas da física estão relacionados às mais elementares leis naturais, a complexidade é a qualidade por essência que caracteriza os objetos de estudo da biologia (DAWKINS, 2001).

Reduccionismo e emergentismo no ensino de ciências

O trabalho didático com temas da filosofia da ciência como reduccionismo e emergentismo proporciona possibilidades para trabalhar com objetivos educacionais importantes (EL-HANI, 2000; OLIVEIRA; GOMES, 2021), como: explicar a forma de construção de conhecimentos científicos; refletir sobre a importância da história da ciência para a melhor compreensão da natureza dos métodos científicos; pensar acerca dos novos desafios existentes na seara científica e como eles podem ser enfrentados pelas ferramentas e metodologias científicas que conhecemos.

Dois exemplos contemporâneos nesse sentido envolvem o estudo da origem da vida e o da origem da consciência (bem como das definições desses dois conceitos), empreendimentos que precisam, para ser bem-sucedidos, buscar conhecimentos de uma ampla variedade de disciplinas, tais como biologia, filosofia, física, química, psicologia, computação e matemática, de modo a permitir um intercâmbio de ideias e conceitos entre essas áreas que aumente

as chances de construir uma explicação científica aceitável para os fenômenos em foco. Assim, por exemplo, em sala de aula, o conhecimento dos conteúdos básicos trabalhados pelas teorias científicas sobre a origem da vida e das inter-relações desse tema com a questão do reducionismo, especialmente por parte de professores de biologia, é importante para produzir um encaminhamento pedagógico positivo desse tema e das possíveis dificuldades com as representações que os alunos muitas vezes trazem à sala de aula (NICOLINI; FALCÃO; FARIA, 2010).

A hipótese reducionista é aceita implicitamente por alguns sem questionamentos mais profundos acerca da natureza da ciência, entretanto reflexões epistemológicas sobre essa questão, principalmente no âmbito da educação científica, apresentam um grande potencial para colaborar para a melhor compreensão a respeito dos métodos usados pela ciência para produzir conhecimento (ANDERSON, 1972).

O estudo da história térmica do universo pode ser útil para entender a evolução da complexidade, sobretudo pela compreensão dos dois grandes períodos em que podem ser divididos os 13,8 bilhões de anos de sua existência: o domínio da radiação (quando a densidade de radiação é superior à densidade de matéria), que se estende do momento inicial, com o *Big Bang*, até cerca de 380 mil anos depois; e o domínio da matéria (quando a densidade de matéria passa a ser superior que a densidade de radiação) até os dias de hoje. Ao longo da sua existência, portanto, o universo variou de um estado de simplicidade para um estado de complexidade, com a formação de superestruturas ligadas gravitacionalmente, como planetas, estrelas e galáxias, e com o surgimento, na Terra, de organismos vivos, há mais de 3,5 bilhões de anos. Mas é importante destacar que não necessariamente complexidade está relacionada à desordem nem, portanto, à entropia (ALVES-BRITO; CORTESI, 2021), pois são conceitos diferentes.

Críticas ao reducionismo vistas como apologia de abordagens anticientíficas tendem a ser rejeitadas, entretanto é importante, em certa medida, trabalhar também na educação com temas de fronteira da ciência, em que o caráter exploratório do fazer científico cotidiano fica mais evidente. Os debates sobre a origem da vida ou a origem da consciência podem ser vistos como a estruturação de uma “ciência extraordinária” (KUHN, 1996), associada a um período de intensa fermentação e experimentação teórica em que as práticas e os conceitos da chamada ciência normal são afrouxadas em resposta a uma persistente anomalia, um problema que resiste à solução conforme os limites da normalidade prevalecente. O modo como esses debates vão evoluir não é algo dado, pois revoluções científicas podem ou não ser necessárias nesses casos (VAN GULICK, 2001). Novamente, esse tipo de discussão no âmbito de atividades de ensino pode colaborar decisivamente para a melhor compreensão dos métodos da ciência para construir conhecimentos.

O reducionismo hierárquico procura explicar uma entidade complexa em qualquer nível da hierarquia de organização com base nas entidades que estão apenas um nível abaixo em termos hierárquicos, entidades que provavelmente são também complexas e exigem uma nova redução a suas partes constituintes, e assim por diante, com o detalhe de que os tipos de explicação pertinentes a níveis superiores da hierarquia são muito diferentes dos tipos de explicação cabíveis nos níveis inferiores.

Todavia, no caso da ecologia, por exemplo, os *loops* de realimentação criam uma estrutura em determinado nível que independe do que ocorre no nível inferior (ULANOWICZ, 1997). É possível até, paradoxalmente, em alguns casos, explicar fenômenos em determinado nível de hierarquia em termos de fenômenos em um nível superior; em certo sentido, o oposto do reducionismo. Um exemplo disso é o que acontece com organismos vivos e ecossistemas. Uma vez que dada organização biológica tenha surgido, ela restringirá fortemente o comportamento de seus componentes (CAMPBELL, 1974). Esse é um tipo de causalidade descendente (e não ascendente, como é comum no modelo reducionista) que as totalidades emergentes exercem sobre as suas partes e que pode ser discutido de modo produtivo em sala de aula, até pelas suas características inusitadas.

Um exemplo controverso de reducionismo é a teoria da sociobiologia (SÁNCHEZ-ARTEAGA et al., 2015), segundo a qual os comportamentos humanos e sociais (incluindo o altruísmo, a moral e até mesmo a religião) são causados pela maximização da propensão de sobrevivência de nossos genes. De acordo com o paradigma da sociobiologia, as ciências sociais seriam então redutíveis à biologia. Uma das consequências desse tipo de ideia é que o livre-arbítrio seria uma espécie de ilusão, pois não existiria, já que fundamentalmente seríamos programados por códigos genéticos que atuam desde a concepção (WILSON, 1975). Aqui, existe um passo que é dado para além do reducionismo, no sentido do determinismo biológico, em consonância com as visões de mundo dos seus postulantes.

Ademais, em algumas situações há diferentes possibilidades de redução. No que diz respeito ao problema acerca da relação corpo-mente e da natureza da consciência, talvez um outro tipo de redução seja necessário no lugar da redução do mental ao físico. Por exemplo, é possível conjecturar uma redução de acordo com a qual o mental e o físico sejam diferentes aspectos dos mesmos constituintes básicos do mundo (NAGEL, 1974; ABRANTES, 2005).

Até mesmo na física, apesar da busca sistemática de uma teoria final que a unificaria completamente, por meio de leis gerais mais simples (WEINBERG, 1974), talvez os físicos tenham de se contentar simplesmente em ajustar as várias teorias existentes (HAWKING; MLODINOW, 2010).

Um dos principais motivos para a importância da inserção da filosofia da ciência no ensino e do debate de temas como o reduccionismo e o emergentismo em sala de aula está relacionado à possibilidade de permitir, com os alunos, reflexões motivadoras a respeito da natureza do fazer científico. Para exemplificar, pode ser destacado o potencial didático do artigo “What is it like to be a bat?”, de Thomas Nagel (1974), cuja tradução para o português, “Como é ser um morcego?” (NAGEL, 2013), pode ser útil para professores que pretendam trabalhá-lo em aula. Ele envolve a ideia de que morcegos têm algum tipo de consciência sobre o mundo ao seu redor e sentem experiências de determinado tipo, mas que tais experiências são muito diferentes das experiências humanas, por causa da capacidade de perceberem o mundo e navegarem por ele por meio de uma espécie de sonar associado ao sentido de ecolocalização resultante da reflexão dos seus próprios gritos extremamente agudos, emitidos na faixa de ultrassom. O próprio título do artigo já provoca inquietação no leitor, podendo ser usado como ferramenta pedagógica para incentivar os alunos a se questionarem sobre se poderíamos chegar a saber como é de fato ser um morcego e a refletirem sobre como nos relacionamos com o mundo à nossa volta e o sentimos (BONJOUR, 2013).

Uma analogia útil em termos didáticos para compreender melhor as questões envolvidas nos debates sobre reduccionismo e emergentismo está no fato de que conhecer todas as letras que compõem o alfabeto de determinado idioma não implica que se saiba o significado das suas palavras. Esses significados são, desse modo, emergentes (BASTOS FILHO, 2005).

O conceito de emergência pode ser abordado por duas perspectivas básicas: fraca e forte (PESSOA JR., 2013b). A emergência fraca é um tipo de emergência em que a propriedade emergente é passível de simulação de computador. Já a emergência forte é caracterizada em termos da não redutibilidade, como ocorre com respeito ao problema da relação mente-corpo (FARIA, 2015; GILLET, 2016), uma questão filosófica tratada no campo da filosofia da mente relacionada ao fato de que os fenômenos mentais parecem ser qualitativa e substancialmente diferentes dos corpos dos quais eles dependem (BUNGE, 2014). Esse problema foi identificado, no seu sentido contemporâneo, por René Descartes, no século XVII.

Quanto à emergência da vida e à sua evolução, é possível observar, em termos didáticos, os limites empíricos do reduccionismo, por causa da dificuldade de retroceder estritamente na evolução de alguma espécie, até a sua origem primordial, pelo fato de o processo evolutivo até o presente ser constituído de um número muito grande de eventos (LORENZ, 1995).

Na área do ensino de ciências, a analogia e a metáfora são tipos de linguagem que facilitam a transposição do conhecimento de um domínio não familiar para um familiar (BOZELLI; NARDI, 2005). A primeira é um tipo de comparação de coisas com características similares, e a segunda, uma tentativa de comparação de conceitos concretos com conceitos abstratos (KOPP; ALMEIDA, 2019).

Analogias e metáforas são elementos comuns da linguagem humana usados nas mais variadas situações do cotidiano, mesmo por muitos professores em sala de aula inconscientemente, porém é importante tomar os devidos cuidados com esse recurso e sempre que possível apresentar os limites das comparações feitas, de modo a não provocar problemas de aprendizagem de conceitos científicos que, caso contrário, podem ser compreendidos de maneira equivocada pelos alunos (KOPP; ALMEIDA, 2019).

Analogias e metáforas não são reduções, pois operam com o objetivo de usar situações paralelas ou similares como recurso para colaborar com a compreensão de determinado conceito, por exemplo, durante o processo de aprendizagem. Mesmo assim, elas podem ser utilizadas para debater acerca do reduccionismo e do emergentismo no âmbito da ciência, pois possibilitam criar explicações que tenham relação com o universo cultural e as experiências cotidianas dos alunos.

Literatura existente sobre reduccionismo e emergentismo

Com o objetivo de tentar estimar a quantidade de trabalhos envolvendo as áreas de estudo do reduccionismo, do emergentismo e de tópicos associados, tanto em português quanto em inglês, foram selecionados alguns descritores – termos, expressões ou palavras-chave – usados na busca de trabalhos acadêmicos sobre os temas investigados, por meio da ferramenta Google Acadêmico (Google Scholar), um mecanismo virtual de pesquisa

existente desde 2004 e livremente acessível que organiza e lista textos completos da literatura acadêmica em diferentes formatos de publicação.

As buscas foram realizadas no dia 22 de janeiro de 2022, sem a definição de um período específico da publicação, com todos os termos descritores usados colocados entre aspas. Desse modo, foi possível verificar as áreas e temas de maior interesse por parte dos pesquisadores, bem como em certo sentido quantificar, pelo menos de modo estimativo, o grau desse interesse. A Tabela 1 apresenta os descritores e a quantidade de resultados (trabalhos acadêmicos) obtidos para cada descritor.

Tabela 1: Descritores utilizados (em português e em inglês) e quantidade de resultados obtidos na busca realizada por meio do Google Acadêmico.

Descritor utilizado (em português)	Quantidade de resultados	Descritor utilizado (em inglês)	Quantidade de resultados
"reducionismo"	53.900	"reductionism"	240.000
"emergentismo"	2.620	"emergentism"	10.900
"reducionismo na biologia"	21	"reductionism in biology"	1.620
"reducionismo na química"	4	"reductionism in chemistry"	34
"reducionismo na física"	4	"reductionism in physics"	149
"reducionismo na psicologia"	5	"reductionism in psychology"	394
"reducionismo na neurociência"	1	"reductionism in neuroscience"	80
"reducionismo na sociologia" OR "reducionismo nas ciências sociais"	6	"reductionism in sociology" OR "reductionism in social sciences"	86
"reducionismo na filosofia"	11	"reductionism in philosophy"	231
"reducionismo" AND "ciência"	38.800	"reductionism" AND "Science"	153.000
"reducionismo" AND "ensino" AND "ciências"	28.400	"reductionism" AND "Science" AND "teaching"	67.200
"emergentismo" AND "ciência"	635	"emergentism" AND "Science"	9.240
"emergentismo" AND "ensino" AND "ciências"	344	"emergentism" AND "science" AND "teaching"	2.490
"ciência da emergência"	31	"science of emergence"	319
"origem da vida"	10.600	"origin of life"	111.000
"emergência da vida"	834	"emergence of life"	20.300
"origem da consciência"	1.330	"origin of consciousness"	7.860
"emergência da consciência"	1.720	"emergence of consciousness"	7.790

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Os descritores usados foram selecionados com base nas expressões e nos temas mais comuns encontrados nas áreas pesquisadas neste artigo. Em alguns casos foi aplicado o operador (conector) "AND" ("E") entre descritores, de modo a produzir apenas resultados relacionados a todos os descritores conectados pelo operador do tipo "AND". Foi usado também o operador (conector) "OR" ("OU") entre descritores, de modo a produzir apenas resultados relacionados a pelo menos um dos descritores conectados pelo operador do tipo "OR".

Em primeiro lugar, como seria esperado, é nítida a existência, em todos os 18 casos tratados (nas linhas da Tabela 1), de mais trabalhos de pesquisa publicados em inglês do que em português, o que mostra a importância da língua inglesa para as produções da área científica. A média da razão (divisão) entre o número de resultados obtidos para um descritor em inglês e o número de resultados obtidos para o mesmo descritor em português foi 26,7, um número significativamente grande e que revela a expressividade de pesquisas publicadas em inglês

pelo menos nas áreas associadas aos descritores escolhidos. Apenas para comparação, a razão entre os valores do produto interno bruto dos Estados Unidos e do Brasil – respectivamente, 19,5 e 2,1 trilhões de dólares, em 22 de janeiro de 2022 (WORLD O METER, 2022) –, os dois maiores países cujos idiomas mais falados são o inglês e o português, nessa ordem, era 9,3.

Pelos dados da Tabela 1, é possível perceber que há mais trabalhos acerca do reduccionismo do que do tema do emergentismo, em ambos os idiomas. De modo consistente, a razão aproximada entre as quantidades de trabalhos sobre reduccionismo e emergentismo em português é 20,6 e em inglês 22. Além disso, há um número maior de trabalhos tratando do reduccionismo na biologia do que em outras disciplinas científicas, como a física, a química, a psicologia, a neurociência, a filosofia, a sociologia e as ciências sociais. De fato, esse resultado é consistente com o que foi relatado em obras analisadas neste artigo, como, por exemplo, no livro *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*, escrito por Ernst Mayr (1998). Para a biologia, o debate sobre reduccionismo se apresenta como de vital importância para os seus pesquisadores, pois envolve as características científicas definidoras da biologia como área de conhecimento reconhecida em termos científicos.

Finalmente, os trabalhos sobre a questão da origem da vida, em ambos os idiomas, são bem mais numerosos que os trabalhos a respeito da origem da consciência. Esse dado (assim como outros referentes a essa tabela) pode estar relacionado ao número de pesquisadores no Brasil e no mundo investigando cada um desses dois problemas. De modo particular, o campo que estuda a origem da vida, além de constituir uma área importante de investigação científica, é também um tema do ensino com características bastante interdisciplinares e trabalhado na universidade e em escolas de níveis fundamental e médio. A falta de capacitação de muitos professores acerca desse assunto aponta para a necessidade de aprofundar pesquisas sobre ele (NICOLINI; FALCÃO; FARIA, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este é um trabalho de caráter exploratório que não pretende se materializar em conclusões assertivas, mas sim apontar caminhos para pesquisas futuras, bem como colaborar com reflexões e sugestões úteis para professores que pretendam inserir em suas atividades educacionais os temas tratados nesta pesquisa (reduccionismo e emergentismo), com o intuito de enriquecer o debate sobre como o conhecimento científico é produzido e de modo a despertar o interesse de jovens estudantes pela ciência. Debates acerca desses temas podem permitir que atividades de ensino e de divulgação científica estimulem o espírito investigativo e mostrem que a dúvida é algo saudável no âmbito da ciência, desde que praticada com argumentos lógicos fundamentados na área do conhecimento sobre a qual a discussão ocorre.

Um exemplo didático para refletir a respeito das relações complexas entre parte e todo envolve as estratégias de combate à Covid-19 por diferentes países do mundo, a partir de 2020, pois elas evidenciam as relações de causa-efeito de baixo para cima (*upward*) e de cima para baixo (*downward*). A noção de liberdade individual sem senso de responsabilidade coletiva pode provocar prejuízos consideráveis e, eventualmente, o declínio de certas sociedades. Isso ocorre, por exemplo, com comunidades nas quais, durante a pandemia de coronavírus, se aceita como natural a existência de uma alegada liberdade de não usar máscaras em locais públicos fechados ou de não seguir os protocolos de saúde pública que solicitam que não ocorram aglomerações. Comportamentos antissociais de indivíduos (sobretudo, quando passam a ser muito frequentes e por parte de um número considerável de pessoas) determinam a evolução de coletividades, o que por sua vez acaba por trazer consequências para os próprios indivíduos que estão na base dessas sociedades, sejam eles adeptos desses comportamentos antissociais, sejam contrários a eles.

A elaboração deste trabalho evidenciou também que é necessário que sejam realizadas mais pesquisas nas áreas de história e filosofia da ciência, de maneira especial, abordando temas como o reduccionismo e a emergência, de forma que possam ser usadas como ferramentas de discussão que gerem reflexão acerca da natureza e dos métodos utilizados pelas diversas ciências (GATTI; GATTI, 2015).

Mediante a investigação realizada com descritores específicos pelo Google Acadêmico, foram identificadas algumas características das pesquisas publicadas concernentes a temas tratados neste artigo. Há mais pesquisas sobre reduccionismo do que sobre emergentismo, há mais pesquisas sobre reduccionismo na biologia do que sobre reduccionismo em outras disciplinas (como química, física, psicologia, neurociência, sociologia/ciências sociais e filosofia), e há mais pesquisas sobre a origem ou a emergência da vida do que sobre a origem ou emergência da consciência.

Um dos possíveis fatores explicativos da menor presença de pesquisas no que tangem ao emergentismo em relação às pesquisas sobre reducionismo é que a primeira consiste em uma área de pesquisa que tem adquirido maior importância em termos acadêmicos apenas mais recentemente, o que permite discutir com os alunos questões relativas à história da ciência, principalmente aquelas associadas à revolução científica do século XVII e ao modelo de ciência que surgiu associado ao nascimento da mecânica clássica.

A presença de mais trabalhos discutindo a questão do reducionismo na biologia se deve às características do fazer científico dessa disciplina, que, em alguns pontos, tem uma natureza diferente da natureza da física. Em termos educacionais, é importante a esse respeito destacar a diversidade metodológica existente entre as diferentes disciplinas das ciências naturais e das ciências humanas. Estritamente, não existe um método científico, mas uma gama de métodos científicos associados a uma caixa de ferramentas com diferentes recursos usados por vários campos de conhecimento em distintas situações. Há uma unidade de princípios entre eles, tais como consistência, racionalidade e fundamentação experimental/factual, mas existe também muita diversidade nos recursos usados para produzir conhecimentos considerados científicos.

Finalmente, a presença mais intensa de pesquisas sobre a origem da vida do que a respeito da origem da consciência ou da mente revela como evoluem as áreas consideradas como na fronteira da ciência, bem como também as áreas em que há mais pesquisadores disponíveis e interessados em realizar certo tipo de pesquisa. Professores podem usar essa questão para discutir cenários possíveis, no futuro, de desdobramentos das pesquisas nessas áreas. Esse tipo de raciocínio exploratório pode ajudar no desenvolvimento da criatividade e da imaginação, bem como da capacidade de estruturação de um raciocínio lógico e do uso de argumentos para explicar determinado raciocínio.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Bicudo RS, Teixeira RRP; **Curadoria de dados:** Bicudo RS, Teixeira RRP; **Análise Formal:** Bicudo RS, Teixeira RRP; **Aquisição de Financiamento:** Bicudo RS, Teixeira RRP; **Investigação:** Bicudo RS, Teixeira RRP; **Metodologia:** Bicudo RS, Teixeira RRP; **Recursos:** Bicudo RS, Teixeira RRP; **Escrita – Rascunho Original:** Bicudo RS, Teixeira RRP.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Todos os dados foram gerados ou analisados no presente estudo.

FINANCIAMENTO

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
<https://doi.org/10.13039/501100001807>
Grant No. 2019/27033-2

AGRADECIMENTOS

Não aplicável.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, P. T. Nagel e os limites de um reducionismo fisicalista (uma introdução ao artigo “What is it like to be a bat?”). **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 223-244, 2005. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15322/1/ARTIGO_TNagelLimitesReduccionismo.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.

- ALVES-BRITO, A.; CORTESI, A. Complexidade em astronomia e astrofísica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, Supl. 1, e20200418, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0418>
- ANDERSON, P. More is different. **Science**, v. 177, n. 4047, p. 393-396, 1972. Disponível em: https://cse-robotics.engr.tamu.edu/dshell/cs689/papers/anderson72more_is_different.pdf. Acesso em: 18 jan. 2022.
- BARROW, J. D. **Teorias de tudo**: a busca da explicação final. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.
- BASTOS FILHO, J. B. **Reduccionismo**: uma abordagem epistemológica. Maceió: Edufal, 2005.
- BEDAU, M. A.; HUMPHREYS, P. **Emergence**: contemporary readings on science and philosophy. Cambridge: MIT Press, 2008.
- BONJOUR, L. What is it like to be a human (instead of a bat)? **American Philosophical Quarterly**, v. 50, n. 4, p. 373-385, 2013. Disponível em: <https://newdualism.org/papers/L.BonJour/BonJour-MARTIAN.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- BOZELLI, F. C.; NARDI, R. O uso de analogias e metáforas como recursos didáticos no ensino de física. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 17, p. 60-74, 2005. <https://doi.org/10.17227/ted.num17-410>
- BUNGE, M. A. **The mind-body problem**: a psychobiological approach. Londres: Elsevier, 2014.
- CAMPBELL, D. T. "Downward causation" in hierarchically organized biological systems. In: AYALA, F. J.; DOBZHANSKY, T. (org.). **Studies in the philosophy of biology**. Nova York: Macmillan Press, 1974. p. 179-186.
- DAWKINS, R. **O relojoeiro cego**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.
- EL-HANI, C. N. **Níveis da ciência, níveis da realidade: evitando o dilema holismo/reduccionismo no ensino de ciências e biologia**. 2000. 383f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. <https://doi.org/10.11606/T.48.2000.tde-02042015-111525>
- FARIA, D. L. Reflexões acerca das concepções de redução e emergência. **Synesis**, v. 7, n. 1, p. 66-77, 2015. Disponível em: <http://seer.ucp.br/seer/index.php/synesis/article/view/741>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- GATTI, F. G.; GATTI, S. R. T. **Redução, emergência e a natureza da ciência: implicações para a formação de professores**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, Águas de Lindoia, 10., 2015. *Anais...* Águas de Lindoia, 2015. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0368-1.PDF>. Acesso em: 14 jan. 2022.
- GILLET, C. **Reduction and emergence in science and philosophy**. Nova York: Cambridge University Press, 2016.
- HAWKING, S. W.; MLODINOW, L. The elusive theory of everything. **Scientific American**, v. 303, n. 69, 2010. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/the-elusive-theory-of-everything/>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- HUBER, F. et al. Emergent complexity of the cytoskeleton: from single filaments to tissue. **Advances in Physics**, v. 62, n. 1, p. 1-112, 2013. <https://doi.org/10.1080%2F00018732.2013.771509>
- JACKSON, F. What Mary didn't know. **Journal of Philosophy**, v. 83, n. 5, p. 291-295, 1986. <https://doi.org/10.2307/2026143>
- JOHNSON, S. **Emergência**: a dinâmica de rede em formigas, cérebros, cidades e *softwares*. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.
- KOPP, F. A.; ALMEIDA, V. Analogias e metáforas no ensino de física moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 69-98, 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p69>

- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1996.
- LAUGHLIN, R. B. **A different universe: reinventing physics from the bottom down**. Nova York: Basic Books, 2005.
- LORENZ, K. **Os fundamentos da etologia**. São Paulo: Editora da Unesp, 1995.
- MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança**. Brasília: Editora da UnB, 1998.
- MORIN, E. **Ciência em consciência**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2005.
- NAGEL, T. Como é ser um morcego? **Revista da Abordagem Gestáltica: Phenomenological Studies**, v. 19, n. 1, p. 109-115, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3577/357735557011.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- NAGEL, T. What is it like to be a bat? **The Philosophical Review**, v. 83, n. 4, p. 435-450, 1974. Disponível em: q. Acesso em: 20 jan. 2022.
- NICOLINI, L. B.; FALCÃO, E. B. M.; FARIA, F. S. Origem da vida: como licenciandos em Ciências Biológicas lidam com este tema? **Ciência & Educação**, v. 16, n. 2, p. 355-367, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132010000200006>
- OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132008000100005>
- OLIVEIRA, D. A. B.; GOMES, V. B. Uma crítica ao reducionismo filosófico da química à mecânica quântica como elemento fundamental para a formação de professor. **Ciência & Educação**, v. 27, e21074, 2021. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210074>
- PESSOA JR., O. **Duas tradições na sistêmica: holismo organicista e reducionismo separabilista**. In: GONZALEZ, M. E. Q.; MORAES, J. A.; KERR, D. M. (org.). *Informação e ação: estudos interdisciplinares*. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica/Unesp, 2013a. p. 295-327. Disponível em: <https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/AO-Duas-tradicoes-final.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- PESSOA JR., O. Emergência e redução: uma introdução histórica e filosófica. **Ciência e Cultura**, v. 65, n. 4, p. 22-26, 2013b. <https://doi.org/10.21800/S0009-67252013000400011>
- PRIGOGINE, I. El redescubrimiento del tiempo. **Archipiélago – Cuadernos de Crítica de la Cultura**, Madri, n. 10-11, p. 69-82, 1992. Disponível em: <https://4grandesverdades.files.wordpress.com/2009/12/ilya-prigogine-redescubrimiento-del-tiempo.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- RAMOS, J. P.; TEIXEIRA, L. M.; BARBOSA, J. I. C. Skinner: sobre o reducionismo. **Rede Brasileira de Análise do Comportamento**, v. 16, n. 2, p. 103-112, 2020. <https://doi.org/10.18542/rebac.v16i2.9604>
- SÁNCHEZ-ARTEAGA, J. et al. Alterização, biologia humana e biomedicina. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 3, p. 615-641, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662015000300007>
- SCHERMA, M. A.; MIRANDA, V. G. Relatos de uma jornada exploratória por grupos com viés anti-ciência. **Revista UFG**, v. 20, n. 26, e66663, 2020. <https://doi.org/10.5216/revufg.v20.66663>
- SCHULZ, P. A. Reduccionismo versus complexidade: o pensamento de Phil Anderson e sua influência em outras áreas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, Supl. 1, e20200432, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0432>
- ULANOWICZ, R. E. **Ecology: the ascendant perspective**. Nova York: Columbia University Press, 1997.
- VAN GULICK, R. Reduction, emergence and other recent options on the mind/body problem. **Journal of Consciousness Studies**, v. 8, n. 9-10, p. 1-34, 2001. Disponível em: <https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/Van-Gulick-Reduction-and-emergence-2001.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- VASCONCELLOS, Á. R.; RODRIGUES, C. G.; LUZZI, R. Complexidade, auto-organização e informação em sistemas dinâmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2314, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173721806>

WEINBERG, S. The limits of reductionism. **Nature**, v. 331, p. 475-476, 1988. <https://doi.org/10.1038/331475a0>

WEINBERG, S. Unified theories of elementary-particle interaction. **Scientific American**, v. 231, n. 50, 1974. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/unified-theories-of-elementary-part/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

WILSON, E. O. **Sociobiology: the new synthesis**. Cambridge: Harvard University Press, 1975.

WONG, H. Y. **The secret lives of emergents**. In: CORRADINI, A.; O'CONNOR, T. (org.). Emergency in science and philosophy. Nova York: Routledge, 2010. p. 7-27.

WORLD O METER. **GDP by country**. Disponível em: <https://www.worldometers.info/gdp/gdp-by-country/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

ZYLBERSZTAJN, A. Teoria final, unificação e reduccionismo: opiniões da comunidade brasileira de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 1-17, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000100001>