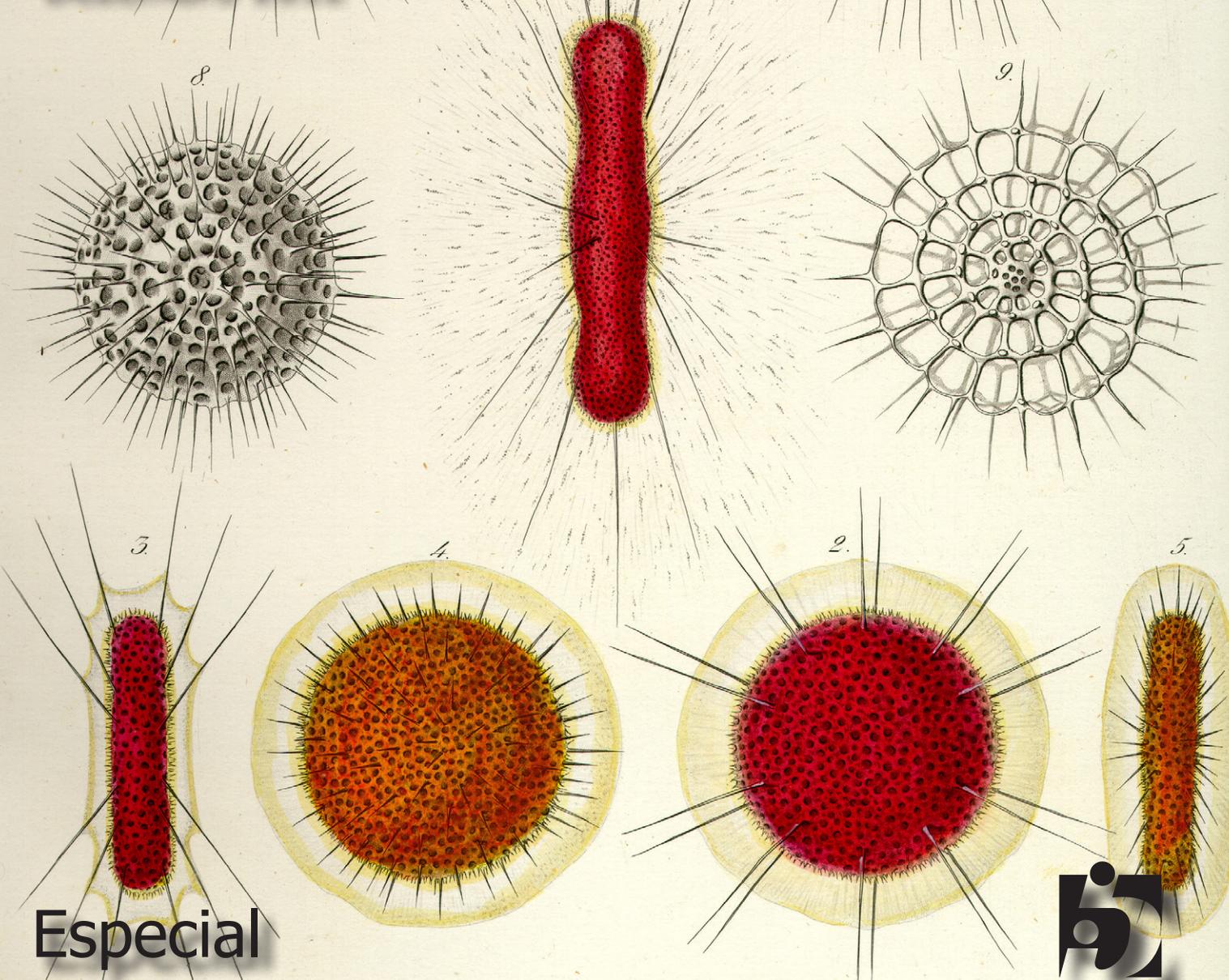


Biologia

Volume 9(2)

Dezembro 2012

ib.usp.br/revista



Especial Filosofia e História da Biologia



1. Spongurus cylindricus, Hkl. 2-5. Spongotrochus. 2. 3. S. longispinus, Hkl. 4. 5. S. brevispinus, Hkl. 6-9. Lithelius. 6. 7. L. spiralis, Hkl. 8. 9. L. Alveolina, Hkl.

Revista da Biologia

Publica textos de todas as áreas da Biologia, abordando questões gerais (ensaios e revisões) e específicas (artigos experimentais originais, descrição de técnicas e resumos expandidos).

Há espaço também para perspectivas pessoais sobre questões biológicas com relevância social e política (opinião).

A Revista da Biologia é gratuita e exclusivamente on-line. Sua reprodução é permitida para fins não comerciais.

ISSN1984-5154

www.ib.usp.br/revista

Contato

revistadabiologia@gmail.com

Revista da Biologia

Rua do Matão, trav. 14, 321
Cidade Universitária, São Paulo
São Paulo, SP Brasil
CEP 05508-090

Expediente

Editor Executivo

Carlos Rocha

Coordenadores

Agustín Camacho

Daniela Soltys

Pedro Ribeiro

Rodrigo Pavão

Editor científico

Maria Elice Brzezinski Prestes

Consultores científicos

Camile correa

Daniel Lahr

Gildo Santos

Hamilton Haddad

Leopoldo barletta

Pedro Jose Da Gloria

Editores gráficos

Juliana Roscito

Leonardo M. Borges

Volume 9(2) publicado em dezembro de 2012



Imagem da capa: Haeckel, E. 1862 Die Radiolarien (Rhizopoda Radiaria), Berlin. Plate . Disponível em <http://caliban.mpiz-koeln.mpg.de/haeckel/radiolarien/>

Editorial

Maria Elice Brzezinski Prestes

Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

Grupo de Pesquisa em História da Biologia e Ensino (HBE)

Grupo de Pesquisa em História, Teoria e Ensino de Ciências (GHTEC)

É com muita satisfação que atendemos ao convite de Revista da Biologia para um número especialmente voltado a temas de Filosofia e História da Biologia. A Biologia é a mais nova dentre as ciências a trazer o seu objeto de investigação, a vida, para a abordagem histórica e filosófica, como ocorreu mais precocemente com a Física, a Matemática e a Química. Sendo um campo de investigação que se institucionalizou nas últimas décadas, particularmente a partir dos anos 1960 e 1970, constituiu-se, talvez, em uma novidade aos próprios biólogos. Daí a maior relevância de iniciativas como a dos editores da revista, aos quais agradecemos a oportunidade.

Dos sete artigos aqui reunidos, três deles tratam de temas já “clássicos” da Filosofia da Biologia – se é que a juventude da área permite fazer uso de tal expressão. O artigo de Ricardo Santos do Carmo e colaboradores focaliza a explicação teleológica na biologia. Remete-se particularmente à teoria das funções de Robert Cummins, expressa em artigo de 1975, cuja relevância se deve ao papel arquitetônico, e não meramente metodológico, que possui na formação das teorias, como assinalado por François Duchesneau em seu *Philosophie de la Biologie*, de 1997. Fernanda Meglhiortti e colaboradores argumentam em favor da abordagem hierárquica e sistêmica para a construção da autonomia da Biologia. Com novas tintas teóricas, desenvolvem o importante tema da autonomia que marca o livro de Ernst Mayr, *Biologia, ciência única*, de 2004. O artigo encabeçado por Nei Freitas Nunes-Neto aborda a interface entre sistemas naturais e sujeitos cognoscentes como locus da emergência da complexidade. A aproximação que os autores fazem com o empirismo construtivo de van Fraassen ilumina o tipo de contribuição que a filosofia da ciência em geral pode trazer às questões particulares da Biologia. Note-se que estes três artigos não são trabalhos individuais, mas refletem a vigorosa contribuição à área que vem sendo desenvolvida de modo integrado a uma cultura maior de discussão e colaboração no grupo de pesquisa de Charbel Niño El-Hani, no Instituto de Biologia da UFBA.

O artigo de Guilherme Francisco Santos sobre o importante conceito de monera formulado por Ernst Haeckel no final do século XIX lança luz a outro tema central da Filosofia da Biologia, o da individualidade. A análise minuciosa das fontes primárias de Haeckel, indisponíveis em nosso idioma, fideliza o mais estrito rigor filosófico à metodologia da História da Ciência. Como no caso dos artigos precedentes, essa pesquisa integra referências para a área que vêm sendo desenvolvidos junto ao grupo de pesquisa de Maurício de Carvalho Ramos, na Faculdade de Filosofia da USP.

O artigo encabeçado por Fernando Moreno Castilho, filiado à linha de pesquisa da historiadora da biologia Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, trata do tema mais que central da biologia, o conceito de seleção natural. Ao elucidá-lo conforme proposto em duas obras de Darwin, o artigo sinaliza para o alerta historiográfico de que a teoria de Darwin é diferente da teoria evolutiva atual.

Os dois artigos restantes, encabeçados por Eduardo Crevelário de Carvalho e Taysy Fernandes Tavares são exemplos do que vem sendo feito pelo Grupo de Pesquisa em História da Biologia e Ensino do IB-USP. Eduardo retoma as investigações sobre a geração espontânea no século XVIII, destacando-a como uma das controvérsias mais acirradas daquele século. Por sua vez, Taysy aborda o estudo de caso de Robert Hooke à luz da “etiqueta” historiográfica de pseudo-história, problematizada por Douglas Allchin.

Como diversos outros, os grupos aqui representados são integrantes da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia, ABFHiB. Criada em 17 de agosto de 2006, a ABFHiB tem o objetivo de ampliar a difusão dos estudos de Filosofia e História da Biologia no contexto brasileiro, propósito esse que vem sendo cumprido por meio de atividades regulares, como a organização dos encontros anuais no mês de agosto e as publicações do Boletim de História e Filosofia da Biologia e da revista Filosofia e História da Biologia.

Embora ofereça uma amostra da pesquisa atual que vem sendo realizada no Brasil em Filosofia e História da Biologia, esta pequena coleção de ensaios está longe de servir de panorâmica do que há. Outros grupos de pesquisa, muitos dos quais também filiados à ABFHiB, vêm sendo formados em nosso país e oferecem aportes igualmente promissores para a área.

A você leitor, encerro com votos de “boa leitura”!

Volume 9(2)

Índice

- Lazzaro Spallanzani e a geração espontânea: os experimentos e a controvérsia** 1
Lazzaro Spallanzani and spontaneous generation: the experiments and the controversy
Eduardo Crevelário de Carvalho, Maria Elice Brzezinski Prestes
- O conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da biologia** 7
The concept of organism in a hierarchical and systemic approach to biology
Fernanda Aparecida Meghioratti, Charbel Niño El-Hani, Ana Maria de Andrade Caldeira
- As concepções evolutivas de Darwin sobre a expressão das emoções no homem e nos animais** 12
Darwin's evolutionary conceptions on the expression of emotions in man and animals
Fernando Moreno Castilho, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins
- Moneras e individualidade biológica: alguns elementos do conceito de monera de Ernst Haeckel** 16
Moneras and biological individuality: some elements of the concept of monera of Ernst Haeckel
Guilherme Francisco Santos
- A Teoria das Hierarquias e seus fundamentos epistemológicos** 20
Hierarchy Theory and its epistemological grounds
Nei Freitas Nunes-Neto, Charbel Niño El-Hani
- É legítimo explicar em termos teleológicos na biologia?** 28
Is it legitimate to explain in teleological terms in biology?
Ricardo Santos do Carmo, Nei Freitas Nunes-Neto, Charbel Niño El-Hani
- Pseudo-história e ensino de ciências: o caso Robert Hooke (1635-1703)** 35
Pseudo-history and science teaching: the case Robert Hooke (1635-1703)
Taysy Fernandes Tavares, Maria Elice Brzezinski Prestes

Lazzaro Spallanzani e a geração espontânea: os experimentos e a controvérsia

Lazzaro Spallanzani and spontaneous generation: the experiments and the controversy

Eduardo Crevelário de Carvalho^{1,3}, Maria Elice Brzezinski Prestes^{2,3,4}

¹Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo

²Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

³Grupo de Pesquisa em História da Biologia e Ensino (GPHBE)

⁴Grupo de Pesquisa em História, Teoria e Ensino de Ciências (GHTEC)

Contato dos autores: ¹edu.carvalho@usp.br, ²eprestes@ib.usp.br

Resumo. Este artigo aborda as pesquisas realizadas pelo naturalista italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) sobre a geração espontânea. Como se trata de uma ideia que não é mais aceita, ela costuma ser abordada com ironia em relatos históricos anacrônicos. Nesses casos, desconsidera-se que foi defendida por muitos estudiosos da natureza, durante muitos séculos. O objetivo deste trabalho é o de analisar, após um panorama histórico das ideias de alguns dos principais autores envolvidos com o tema, os experimentos de Spallanzani sobre a geração, no contexto das teorias do século XVIII e particularmente da controvérsia entre Spallanzani e John T. Needham (1713-1781). Serão traçadas também considerações sobre elementos de natureza epistêmica e não-epistêmica que participam da solução, ou não, das controvérsias científicas.

Palavras-chave. *Controvérsias científicas, geração espontânea, Lazzaro Spallanzani.*

Abstract. This article discusses the researches performed by the Italian naturalist Lazzaro Spallanzani (1729-1799) on spontaneous generation. For this is an idea no longer accepted, the theme is often dealt with irony by anachronistic historical reports. In such cases, it discredits that the idea has already been held by many researchers of nature, through many centuries. The goal of this work, after presenting a historical overview of ideas of the main authors concerned with the issue, is to analyze the experiments of Spallanzani on the generation in the context of the Eighteenth Century theories and the controversy between Spallanzani and John T. Needham (1713-1781). There will be also a brief discussion of the epistemic and non-epistemic elements that participate in the solution, or not, of scientific controversies.

Keywords. *Scientific controversies, spontaneous generation, Lazzaro Spallanzani.*

Recebido 17abr11

Aceito 01set11

Publicado 15dez12

Introdução

Na segunda metade do século XVIII, o debate sobre a origem da vida tornou-se bastante intenso entre filósofos e naturalistas que investigavam o problema da geração¹.

Naquele momento, as opiniões sobre o modo pelo qual os organismos vivos se reproduzem eram muito diversas. De modo geral, os estudiosos intitulavam-se como defensores de uma entre duas grandes teorias que procuravam explicar o fenômeno: a epigênese e o pré-formismo ou preexistência. A epigênese apoiava-se na ideia de que os organismos são formados gradualmente após a fecundação, a cada instante do próprio processo reprodutivo. O pré-formismo baseava-se em que todas as partes e a estrutura do organismo vivo já existem nos “germes” que lhes dão origem.

A compreensão sobre a origem mesma dos organismos vivos, por sua vez, também variou conforme diferentes épocas. Uma hipótese, muito antiga, era a da geração espontânea, segundo a qual os organismos são formados a partir de matéria inanimada. Outra hipótese era a de que todo ser vivo provém de um progenitor preexistente (e até o aparecimento das teorias evolutivas do século XIX, esse progenitor foi criado por Deus).

Em meados do século XVIII – período em que foram realizados os experimentos tratados neste trabalho – a ideia da geração espontânea passou a ser bastante criticada, especialmente por estar relacionada à doutrina pagã que atribuía forças e poderes à natureza. A “Igreja católica apoiava justamente o oposto, a geração unívoca², ou seja,

1 O termo “geração” não possuía uma conotação única nessa época, mas englobava reprodução, regeneração e origem dos seres vivos.

2 Na época utilizava-se o termo geração “unívoca” para a doutrina que explicava a origem dos seres vivos a partir de germes ou progenitores semelhantes a eles. O oposto seria geração “equívoca”, em que a geração desses animalculos era espontânea (Prestes e Martins, 2010, p. 81).

que todos os organismos estão presentes no germe de um dos progenitores” (Prestes e Martins, 2010, p. 81).

Em síntese, os adeptos da teoria da epigênese aceitavam a geração espontânea, enquanto os defensores da teoria da pré-formação a negavam. A aceitação do sistema pré-formista até meados do século XVIII deveu-se, em grande medida, ao seu “potencial para um entendimento mecânico da alma e do espírito e, portanto, do relacionamento de Deus com seu mundo mecânico” (Pinto-Correia, 1999, p. 49).

Esta pesquisa traz uma análise da contribuição do naturalista italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) a esses debates. Após uma breve apresentação das pesquisas realizadas no século XVIII e, mais particularmente, da controvérsia que Spallanzani estabeleceu com John Turberville Needham (1713-1781), será feita uma análise mais detalhada da última obra em que Spallanzani tratou do tema, as *Osservazioni e sperienze intorno agli animalucci delle infusioni, in occasione che si esaminano alcuni articoli della nuova opera del Sig. Di Needham* (Observações e experiências sobre os animálculos das infusões, ocasião em que são examinados alguns artigos da nova obra do Senhor Needham).

Um panorama das pesquisas sobre a geração

Na Antiguidade, a crença na geração espontânea abrangia desde a formação de vermes e insetos até animais maiores (peixes e salamandra, por exemplo). Com o tempo, “a tese da geração espontânea perdeu crédito, sendo aplicada somente para explicar a presença de vermes intestinais no homem e em outros animais” (Martins e Martins, 1989, p. 8)³. No entanto, a situação mudou completamente com a utilização do microscópio e da lupa, no início do século XVII.

Isso ocorreu devido a observações realizadas por microscopistas como os holandeses Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) e Nicolas Hartsoeker (1656-1725). Leeuwenhoek observou a presença de animálculos⁴ na água estagnada. No entanto, “na ocasião não se preocupou em determinar sua origem” (Martins, 2007, p. 101). Hartsoeker propôs que os animálculos espermáticos (isto é, os pequenos animais encontrados no esperma, atualmente, espermatozoides) contêm dentro de si um pequeno animal, pré-formado, o homúnculo, que daria origem

3 Isso mostra que John Farley tem razão quando diz que em boa parte de relatos históricos sobre a geração espontânea existem dois pressupostos básicos inválidos. O primeiro é que a controvérsia se desenvolveu principalmente sobre a origem dos microrganismos e o segundo é a crença de que a geração espontânea foi refutada pela experimentação. Segundo o autor, esses equívocos podem ter surgido devido à tendência em escrever a história da ciência como uma história de sucesso, hoje amplamente criticada como uma historiografia *whig* (Farley, 1972, p. 96).

4 O termo microrganismo ainda não era utilizado nesse período. Para se referir ao que hoje chamamos de microrganismos eram utilizados termos como “animálculos” (isto é, pequenos animais), “infusórios” (isto é, seres que aparecem em infusões), entre outros.

ao adulto. Essa interpretação gerou uma corrente de defensores da ideia de que o organismo provém do “germe” masculino, o chamado animalculismo.

Por outro lado, descobertas como a da partenogênese por Charles Bonnet (1720-1793), dos folículos ovarianos (folículos de Graaf) por Régnier de Graaf (1641-1673) e a descrição do desenvolvimento embrionário no ovo de galinha por Albrecht von Haller (1708-1777), trouxeram forte apoio ao ovismo. Segundo essa ideia, o “germe” que engendra um novo organismo estaria no “ovo” (óvulo) das fêmeas.

Um estudo muito importante da época, e que introduziu novos argumentos ao debate, foi publicado por Abraham Trembley (1710-1784), em 1744, referindo-se à reprodução dos pólipos de água doce (hidra). Por meio de uma longa série de observações e experiências, Trembley descreveu a bissecção dos “pólipos de água doce” resultante na produção de dois animais completos, por corte de todo o animal em duas metades, hoje chamado bipartição. Ele também identificou o aparecimento de novos organismos por meio da formação de brotos (brotamento) e a partir de dois indivíduos (reprodução sexual). Trembley concebeu que, no extremo, o fenômeno regenerativo dá origem a dois novos pólipos. O mais importante de seus estudos foi que revelaram a descoberta de novas formas de reprodução animal e causaram grande impacto nas sociedades científicas e nos círculos ilustrados da época⁵.

As descobertas de Trembley foram retomadas por Charles Bonnet, como evidências favoráveis ao pré-formismo. Bonnet pensava que, todos os seres foram criados ao mesmo tempo, uns dentro dos outros, por “encaixamento” (*emboitement*).

Ao mesmo tempo, outros investigadores passaram a defender ardentemente a epigênese, como Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) e John Turberville Needham (1713-1781)⁶. As observações e experimentos de Buffon e Needham realimentaram a defesa da geração espontânea. Por terem motivado diretamente os estudos de Spallanzani, serão analisadas em mais detalhe a seguir.

Quando John Turberville Needham começou a se interessar pela história natural, realizou uma série de observações microscópicas com uma grande variedade de materiais experimentais, cuja descrição apresentou na obra *An Account of some New Microscopical Discoveries* (Uma consideração sobre algumas novas descobertas microscópicas), de 1745.

Três anos depois, em 1748, Needham produziu uma

5 Um bom exemplo da perturbação causada pelas descobertas de Trembley é o que se sucedeu com Haller. Inicialmente animaculista, à luz dos fenômenos com a hidra Haller passou a defender, ainda que temporariamente, a epigênese. Após novas observações da formação do coração no embrião do pinto, retornou ao pré-formismo, dessa vez, ovista (Prestes, 2003, p. 105).

6 A historiografia tradicionalmente situa Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, nessa linha epigenética de explicações. Contudo, de acordo com Maurício de Carvalho Ramos, a teoria de Maupertuis não é necessariamente epigenética. Segundo as conjecturas de Maupertuis, “a matéria que forma o embrião já possui uma forma, pelo menos no que concerne às suas partes e órgãos fundamentais” (Ramos, 2009, p. 123).

nova obra, mais detalhada, intitulada *A summary of some late observations upon the generation, composition and decomposition of animal and vegetable substances* (Um resumo de algumas observações posteriores sobre a geração, composição e decomposição das substâncias animais e vegetais)⁷.

Este relato continha uma série de experimentos com evidências favoráveis à geração espontânea e suas críticas à teoria pré-formista. Ao mesmo tempo, propunha sua teoria sobre as “forças ativas” da natureza, “por argumentos derivados não apenas das observações, que são óbvias a todo naturalista, mas experimentos feitos com substâncias animais e vegetais, durante todo o verão do presente ano” (Needham, 1750, p. 622).

Esse texto foi traduzido e publicado em francês numa edição para a qual Needham acrescentou mais considerações de ordem epistemológica e metafísica: *Nouvelles Observations microscopiques, avec des découvertes sur la composition et la décomposition des corps organisés* (Novas observações microscópicas com descobertas sobre a composição e decomposição dos corpos organizados)⁸.

A publicação do *Nouvelles observations microscopiques*, em 1750, causou grande impacto entre os naturalistas de outros países, pois o francês era a língua culta da época. Conforme Maurício de Carvalho Ramos, citando Beeson (1992), a leitura que Maupertuis fez dessa obra por volta de agosto daquele ano inspirou o autor a retomar suas reflexões e estudos sobre a geração dos organismos, como de fato, sugere a carta a La Condamine de 24 de agosto de 1750:

“Lestes o livro de Needham? Onde estamos? Que novo universo! É lamentável que um homem que observe tão bem raciocine tão mal! Após a leitura de seu livro, tive o espírito tão aturdido com todas as ideias que ele me apresentou que foi preciso deitar-me, como que doente; e eu ainda não estou tão bem curado da confusão em que esta leitura me colocou. Quando esse tumulto estiver um pouco mais mitigado espero retomar o fio de algumas meditações sobre o assunto que iniciei há algum tempo e ver se é possível descobrir alguma coisa razoável.” (Maupertuis, 1750, 125B apud Ramos, 2009, p. 273)

Foi também essa edição francesa, supostamente, que Spallanzani tinha “em mãos ao iniciar suas investigações sobre os microrganismos, em 1761” (Prestes, 2003, pp. 160-161).

Resumidamente, o principal experimento relatado nessa obra é o que Needham introduziu certa quantidade de caldo de carne de carneiro (ainda quente), em um fras-

co. Para isolar o caldo do ar exterior, fechou-o com uma tampa de cortiça. Ele esperava esclarecer se os animálculos que surgiam após algum tempo nessas infusões eram produzidos a partir de algo que vinha de fora, ou se eles eram provenientes da própria substância infusa.

Needham manteve o frasco durante algum tempo sobre carvão quente. Mais tarde, expôs os frascos ao calor do sol durante alguns dias. Abriu-os e retirou gotas do caldo para examinar ao microscópio, encontrando uma grande quantidade de animálculos que se moviam. O mesmo resultado foi obtido com outras infusões de substâncias animais e vegetais.

Com esse resultado, Needham supôs ter encontrado uma evidência favorável ao aparecimento espontâneo de animálculos nas infusões. Além disso, ele procurou explicar que o fenômeno ocorria devido às forças ativas da natureza, que ele chamou de “força” ou “poder vegetativo”. Needham contou com o apoio de Buffon, pois sua interpretação se harmonizava com a “teoria das moléculas orgânicas” do naturalista francês. Buffon acreditava que, na ocasião da morte de um animal, suas moléculas orgânicas continuavam a existir, podendo constituir indivíduos mais simples do que aquele do qual se originaram. Assim, para Buffon, os glóbulos móveis (microrganismos) observados por Needham ao microscópio tinham se originado das moléculas orgânicas do carneiro (Martins, 2007, p. 28).

Shirley Roe acrescenta que embora sua teoria da geração tenha se baseado nos fenômenos revelados pelo microscópio, “John Needham generalizou suas conclusões para construir uma teoria epigenética universal”. Além disso, incorporou aspectos metafísicos à teoria. No entanto, como o homem religioso que era, a sua “metafísica nunca foi de orientação materialista, e sempre foi cuidadosamente colocada em um contexto religioso. Mesmo assim, Needham foi forçado a defender seus pontos de vista contra a acusação de ateísmo” (Roe, 1983, p. 160).

É importante ressaltar “que o experimento de Needham foi extremamente importante, pois introduziu novas ideias técnicas, como a utilização de recipientes fechados contendo líquidos expostos à ação da alta temperatura seguido do exame de seu conteúdo” (Prestes e Martins, 2010, p. 82).

A controvérsia entre Needham e Spallanzani

Essas publicações motivaram Lazzaro Spallanzani a investigar o problema da geração espontânea. Uma de suas estratégias foi a de confrontar as observações de Needham, às objeções já apontadas por Bonnet, assim como por René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757). Esses autores haviam ponderado que os animálculos das infusões poderiam provir de animais (ou de ovos) que estavam no ar ou nas paredes do recipiente, ou misturados ao caldo de carneiro.

A fim de investigar essas objeções, Spallanzani promoveu variações nos experimentos de Needham e considerou que as paredes do recipiente, assim como as próprias substâncias infusas e o ar de seu interior não haviam sido aquecidos suficientemente.

7 No ano seguinte, em 1749, esse relato foi publicado como monografia intitulada *Observations upon the generation, composition, and decomposition of animals and vegetable substances* (Observações sobre a geração, composição e decomposição de substâncias animais e vegetais).

8 Muitas vezes, as fontes precisas das observações e experiências de Needham não são devidamente indicadas, mesmo as mais famosas como a do surgimento de vermes a partir de carne putrefata, ou de seus experimentos sobre animais das infusões (Prestes, 2003, p. 160).

Além disso, “experimentou diferentes materiais para fechar os frascos e observou que a quantidade de animalúculos que apareciam tinha uma relação direta com a entrada do ar que não havia sofrido a ação do fogo” (Prestes e Martins, 2010, p. 85). Em recipientes que foram mantidos abertos, os animalúculos eram abundantes; nos fechados com algodão, eram menos abundantes; eram raros nos tapados com madeira e ausentes nos lacrados com a chama de um maçarico (Prestes e Martins, 2010, p. 85).

Spallanzani realizou o experimento em frascos lacrados em 19 frascos, com diversas matérias infusas, como pedaços de carne ou sementes de vegetais, e obteve em todos eles o resultado que esperava: as infusões não se turvaram e ali não apareceram animalúculos (Prestes e Martins, 2010, p. 85).

Spallanzani publicou o resultado de suas investigações em 1765 em sua obra *Saggio di osservazioni microscopiche concernenti il sistema della generazione de' Signori di Needham e Buffon* (Ensaio de observações microscópicas sobre o sistema da geração dos Senhores Needham e Buffon).

Em 1769, o *Saggio* foi traduzido para o francês e publicado com o título *Nouvelles recherches sur les découvertes microscopiques, et la génération des corps organisés* (Novas pesquisas sobre as descobertas microscópicas e a geração dos corpos organizados). Trata-se de uma edição que contém, além da tradução, cerca de 100 páginas de notas de Needham comentando os experimentos de Spallanzani.

Nessas notas, Needham seguiu considerando a existência de uma força vegetativa que podia produzir animalúculos a partir de um vegetal morto. Também apresentou, dentre outras, duas importantes objeções aos procedimentos experimentais de Spallanzani: este não teria aquecido excessivamente as infusões, destruindo a força plástica ou poder vegetativo das matérias infusas? Não podia o calor excessivo ter corrompido a pequena quantidade de ar existente na parte vazia dos recipientes?

Spallanzani e os animalúculos das infusões

Logo em seguida, Spallanzani fez uma contestação pública a essas últimas objeções de Needham em aula inaugural do curso de História Natural, proferida por ocasião de seu ingresso na Universidade de Pavia, no início do ano letivo de 1769. Foi além e planejou novos experimentos, publicados seis anos depois em *Osservazioni e sperienze intorno agli animalucci delle infusioni, in occasione che si esaminano alcuni articoli della nuova opera del Sig. Di Needham* (Observações e experiências sobre os animalúculos das infusões, ocasião em que são examinados alguns artigos da nova obra do Senhor Needham)⁹.

Spallanzani iniciou o primeiro capítulo desse ensaio com uma “exposição da nova ideia do Senhor Needham sobre o sistema de geração”. Retomou as anotações na tradução francesa do *Saggio*, em que Needham reafirmou sua

crença sobre uma “força vegetativa” que confere uma espécie de vitalidade à matéria:

“Na matéria reside uma força que se destina a formação, e ao governo do mundo orgânico, e que ele denomina vegetativa [...]. [Needham] imagina que esta força coloca em movimento todas as partes da matéria, despertando nesta uma espécie de vitalidade, resultante do acoplamento de duas outras forças, uma resistente, e outra expansiva.” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 17)

“Mas é, sobretudo, na produção dos Corpos organizados que o Senhor Needham entende o poder de sua força vegetativa.” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 18)

Spallanzani reafirmou que era possível compreender o resultado dos experimentos sem a ajuda da força vegetativa e procurou contestar as duas objeções de Needham por meio de novos experimentos.

“Quanto ao resultado da minha Dissertação, acredito ter mostrado de fato a suficiência, como perfeitamente entendo, de que pode ser explicado sem ajuda da força vegetativa. Por conta das duas Oposições que me foram feitas por Needham ao Experimento do fogo, para examinar com filosófica imparcialidade qual o seu valor, realizei uma longa série de experiências que serão descritas nos dois capítulos seguintes.” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 21)

Ao questionar sobre qual seria o valor da primeira objeção feita por Needham, a saber, de que o suposto enfraquecimento ou aniquilamento da força vegetativa da matéria infusa seria provocado pelo elevado tempo de fervura, Spallanzani imaginou um experimento que considerava decisivo. Este consistia em preparar infusões de várias sementes de vegetais e submeter a diferentes tempos de aquecimento. Ele argumentou que se Needham tivesse razão, o número de animalúculos deveria diminuir conforme aumentasse o tempo de fervura da infusão. Por outro lado, “se os animalúculos continuassem a aparecer em grande quantidade, como na primeira [infusão], então a objeção seria inválida” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 22).

Spallanzani optou por utilizar infusões feitas com diferentes tipos de sementes vegetais por supor que elas favoreciam o aparecimento de diferentes tipos de animalúculos. As sementes utilizadas foram feijões brancos, aveia, trigo sarraceno, cevada, semente de malva e de beterraba. Além disso, Spallanzani relatou ter tomado o cuidado de utilizar sementes sempre da mesma planta. Utilizou também gema de ovos de galinha, pois sabia que macerada em água, gerava abundantes “bestas” microscópicas.

Preparou quatro classes de infusões em função do tempo de aquecimento (meia hora, uma hora, uma hora e meia e duas horas) contendo as sete sementes e a gema de ovo, perfazendo um total de 32 recipientes. Fechou todos com rolhas de cortiça – que, para Spallanzani, não impedia totalmente o contato com partículas do ar exterior. Deixou os frascos esfriarem ao ar livre.

Oito dias depois, em todos os frascos foram encon-

9 Esse ensaio foi publicado como o primeiro de cinco opúsculos editados em um livro intitulado *Opuscoli di fisica animale e vegetabile* (Opúsculos de Física animal e vegetal), de 1776.

trados animálculos:

“Os resultados desta experiência claramente mostram que a longa ebulição das sementes não evitou que animálculos “nascessem” nas infusões [...] a infusão das sementes, quando submetidas ao tormento do fogo não deixou de produzir Animálculos. Daí deriva diretamente as inegáveis consequências de que não existe lugar para a primeira objeção feita pelo naturalista inglês e de que sua força vegetativa é um puro trabalho de fantasia.” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 26)

Com esse experimento, Spallanzani também queria indicar que a rolha de cortiça não vedava completamente os vasos.

Em seguida, ele examinou a segunda objeção feita por Needham, de que o aquecimento excessivo destruiria a elasticidade do ar. Para Spallanzani, o exame desta objeção se reduzia, em última análise, a dois aspectos: 1) se o aumento no tempo de aquecimento diminui o nascimento dos animais “infusórios”; 2) se este “acrécimo de calor tornava o ar mais rarefeito, causando perda de elasticidade” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 27).

Para examinar esses aspectos, Spallanzani preparou novos frascos contendo onze sementes vegetais diferentes. Mas, desta vez, planejou uma maneira de fechá-los “hermeticamente”.

Com auxílio da chama de um maçarico, estreitou o diâmetro do pescoço de cada frasco até que se tornasse bem fino e fosse fechado em sua extremidade, com o próprio calor da chama. Para Spallanzani, este procedimento assegurava que a composição do ar no interior dos frascos mantinha a mesma densidade que o ar atmosférico:

“Mas para proceder com a devida cautela é necessário que no momento de fechar os frascos com a chama do maçarico o ar aprisionado no interior do frasco não se torne rarefeito devido à perda de sua elasticidade.” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 22)

Nesses frascos hermeticamente fechados, o autor observou que em dois deles não surgiram animálculos, mas que nos outros nove apareceram em pequena quantidade.

Diante desse resultado, Spallanzani promoveu nova série de experimentos. Colocou os nove diferentes tipos de sementes em frascos fechados hermeticamente (com maçarico estreitando o gargalo e fechando-o) e então os imergiu em outro vaso, com água fervente, por meio minuto; outras nove baterias de frascos foram imersas por um minuto, outras por um minuto e meio e as últimas por dois minutos, perfazendo um total de 36 frascos submetidos ao calor do fogo em intervalos de tempo diferentes.

Após 11 dias, os frascos lacrados hermeticamente foram abertos e examinados, resultando em animálculos nas nove infusões abertas. Ao abrir o primeiro frasco, Spallanzani percebeu um “assobio sutil” provocado pelo ar que fluía para o interior do frasco. Essa observação poderia confirmar a segunda objeção de Needham, ou seja,

de que o fogo diminuía a elasticidade do ar.

Spallanzani imaginou que se o diâmetro do pescoço dos frascos fosse ainda mais estreito, tornando-se um “tubo quase capilar”, este poderia ser fechado hermeticamente muito rapidamente, antes do ar interior tornar-se rarefeito. Por isso, refez os experimentos com frascos de gargalo bem fino e acreditou ter contornado o problema.

Para a sua surpresa, o que encontrou foi que o ar contido no interior dos frascos não havia sofrido perda, mas ganho de elasticidade em relação ao ar exterior. Isto porque, desta vez, ao quebrar o pescoço do frasco na frente da chama de uma vela, essa chama tendia na direção oposta ao frasco, indicando a saída do ar (e não era atraída no sentido do gargalo do frasco, como ocorria antes). Para explicar esse fenômeno, cogitou:

“Não nego que aquele excesso de elasticidade não seja derivado em parte de um fluido elástico presente já nos vegetais, e que possui natureza aparentemente distinta do fluido aéreo.” (Spallanzani, 1998 [1776], p. 28)

Com esses procedimentos, Spallanzani considerou ter rechaçado a segunda objeção de Needham¹⁰. Por consequência, afirmou que a noção de “força vegetativa” não passava de uma quimera. Além disso, Spallanzani considerou ter fornecido resultados de observações e experimentos que “provavam” que os animálculos são gerados a partir de “germes” preexistentes e não a partir das matérias das sementes.

As controvérsias científicas

Após analisar os experimentos apresentados por Lazzaro Spallanzani em resposta às objeções de John T. Needham, bem como o contexto em que se desenvolveu a controvérsia, pode-se perceber que ambos eram experimentadores competentes. Needham desenvolveu experimentos inovadores e Spallanzani introduziu análise de novas variáveis, diversificando as séries experimentais.

Um aspecto que não pode ser ignorado diz respeito às interpretações que Needham e Spallanzani chegaram diante dos resultados obtidos. Os resultados obtidos por meio de longas séries de experiências foram interpretados com base em concepções epistemológicas distintas, ambas aceitáveis naquele período. Needham partilhava da concepção epigenética, Spallanzani, do pré-formacionismo. Ambos acreditaram ter fornecido evidências experimentais a seu favor, e ambos não abandonaram seus sistemas. No sentido kuhiano pode-se dizer que apesar de terem realizado experimentos semelhantes, os resultados foram interpretados com base em paradigmas incomensuráveis.

O debate sobre a origem dos organismos das infusões não se encerrou naquele século, e a contenda se estendeu ao longo do século XIX. Foi “revivido” por Félix

10 Apesar disso, a objeção de Needham de que o ar ficava “viciado” pela ebulição prolongada, “era difícil de descartar, porque naquela época, se sabia pouco sobre a composição do ar e sobre o tipo de alteração que sofria sob ação do calor” (Prestes e Martins, 2010, p. 93).

Pouchet (1800-1876) e Louis Pasteur (1822-1895), sendo que este último costuma ser lembrado por ter realizado uma série de experimentos “brilhantes” que teriam mostrado que a geração espontânea não é possível. Sobre esta questão cabe esclarecer que o aparato experimental montado por Louis Pasteur e seus famosos frascos de pescoço-de-cisne seguiu de perto os experimentos de Spallanzani. Além disso, é importante reconhecer que a controvérsia sobre a geração espontânea não foi resolvida nem mesmo com Pasteur, pois outros pesquisadores continuaram se dedicando ao tema, como o médico escocês Charlton Bastian (1837-1915) (Martins, 2009, p. 96).

Compreender uma controvérsia científica exige o exame da natureza das diferenças que separam os proponentes dos dois lados da contenda. É preciso examinar, além dos experimentos e da lógica que os engendra, as técnicas de argumentação persuasiva que se desenvolvem no interior dos grupos que constituem as comunidades científicas de cada época.

Episódios históricos que se desenvolvem em torno de controvérsias científicas propiciam análise valiosa para a compreensão de aspectos da natureza da ciência. Permitem perceber que, muitas vezes, as tomadas de decisão em favor de uma ou outra hipótese são influenciadas por questões não-epistêmicas, como as que regem a comunicação entre diferentes grupos de pesquisa.

Além disso, o conhecimento que emerge de uma controvérsia científica não é necessariamente melhor ou mais elaborado que o anterior. Nem mesmo segue uma trajetória linear em que teorias mais simples são substituídas ou incrementadas por outras mais elaboradas. Uma controvérsia científica nem mesmo garante que uma determinada concepção seja abandonada em detrimento de outra, e isso ocorre, segundo Feyerabend, porque os critérios pelos quais as teorias são avaliadas não seguem sempre ou exclusivamente uma ordem lógica ou racional. Algumas controvérsias persistem durante períodos relativamente longos ou podem mesmo ser retomadas após algumas décadas ou séculos, como se deu no caso da geração espontânea.

Uma controvérsia pode começar com um problema específico, porém rapidamente se expande a outros problemas e revela divergências profundas. Estas envolvem tanto atitudes e preferências opostas como desacordos sobre métodos vigentes para solucionar os problemas. “Os contendentes acumulam argumentos que creem aumentar o peso de suas posições frente às objeções do adversário, tendendo assim, se não a decidir a questão, pelo menos a inclinar a ‘balança da razão’ a seu favor” (Dascal, 1994, p. 79).

Agradecimentos

A segunda autora agradece o apoio da FAPESP.

Referências

Pinto-Correia C. 1999. O ovário de Eva: a origem da vida. Rio de Janeiro: Campus.
Dascal M. 1994. Epistemologia, controvérsias e pragmática.

- Revista da SBHC 12: 73-98.
Farley J. 1972. The spontaneous generation controversy (1700-1860): the origin of parasitic worms. *Journal of the History of Biology* 5 (1): 95-125. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/4330570>. Acesso em: 07/03/2011.
Feyerabend PK. 1989. *Contra o método*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.
Martins LACP. 2007. *A teoria da progressão dos animais de Lamarck*. Rio de Janeiro: Booklink; São Paulo: FAPESP: GHTC/UNICAMP.
Martins LACP. 2009. Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada. *Filosofia e História da Biologia* 4: 65-100.
Martins LACP, Martins RA. 1989. Geração espontânea: dois pontos de vista. *Perspicillum* 3(1): 5-32.
Needham JT. 1748. A summary of some late observations upon the generation, composition, and decomposition of animal and vegetable substances. *Philosophical Transactions* 45 (490): 615-666. Disponível em www.gallica.fr Acesso em 07/03/2011.
Needham JT. 1750. Nouvelles observations microscopiques avec des découvertes intéressantes sur la composition et la décomposition des corps organizes. Paris: Louis-Etienne Ganeau. Disponível em <http://www.biusante.parisdescartes.fr/> Acesso em 15/03/2011.
Prestes MEB. 2003. *A biologia experimental de Lazzaro Spallanzani (1729-1799)*. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
Prestes MEB e Martins LACP. 2010. História da Biologia e Ensino: Needham, Spallanzani e a Geração Espontânea. In: Caldeira AMA, Araújo ESN, organizadoras. *Introdução à Didática da Biologia*. São Paulo: Escrituras 80-91.
Ramos MC. 2009. *A geração dos corpos organizados em Maupertuis*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34.
Roe SA. 1983. John Turberville Needham and the Generation of Living Organisms. *Isis* 74 (2): 158-184. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/233101>. Acesso em 27/03/2011
Spallanzani L. 1998 [1776]. *Opuscoli di fisica animale e vegetabile dell' abate Spallanzani*. In: Spallanzani L. Edizione nazionale delle opere di Lazzaro Spallanzani. Parte quarta, volume terzo. Modena: Mucchi 15-109.

O conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da biologia

The concept of organism in a hierarchical and systemic approach to biology

Fernanda Aparecida Meghioratti¹, Charbel Niño El-Hani², Ana Maria de Andrade Caldeira³

¹Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Estadual do Oeste do Paraná

²Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia

³Departamento de Educação, Universidade Estadual Paulista

Contato dos autores: ¹meghioratti@gmail.com, ²charbel.el-hani@pesquisador.cnpq.br, ³anacaldeira@fc.unesp.br

Resumo. Alguns autores têm sustentado que o conceito de organismo, de forma geral, perdeu seu papel na Biologia, devido à crescente ênfase nos aspectos moleculares e ao fato de a biologia evolutiva darwinista não ter atribuído por um longo tempo um papel explicativo claro ao organismo em sua estrutura conceitual. Entretanto, o conceito de organismo pode ser considerado fundamental para a demarcação da Biologia como ciência autônoma e com objeto de pesquisa próprio. Buscando contribuir para o debate sobre o conceito de organismo, discutimos nesse trabalho como o organismo pode ser concebido em uma abordagem hierárquica e sistêmica da Biologia, como uma unidade autônoma, com capacidade de agência, coletiva e evolutivamente construída, e possuindo propriedades que emergem no nível orgânico.

Palavras-chave. *Autonomia, hierarquia biológica, organismo.*

Abstract. Some authors have maintained that the concept of organism has lost, generally speaking, its role in Biology, due to the increasing emphasis on molecular aspects and the fact that the Darwinian evolutionary biology for a long time has not ascribed a clear explanatory role to the organism in its conceptual structure. However, the concept of organism can be regarded as being fundamental to the demarcation of Biology as an autonomous science, with its own research object. Seeking to contribute to the debate on the concept of organism, we discuss in this work how the organism can be conceived in a hierarchical and systemic approach to Biology, as an autonomous unit with the capacity of agency, collectively and evolutionarily constructed, and possessing properties that emerge at the organic level.

Keywords. *Autonomy, biological hierarchy, organism.*

Recebido 20mai11

Aceito 10set11

Publicado 15dez12

Introdução

Quando falamos sobre seres vivos, tipicamente nos referimos a eles utilizando o termo “organismo”. Como a Biologia é a ciência da vida, poderia parecer óbvio que as pesquisas biológicas tivessem como um de seus principais objetos de estudo o organismo. Paradoxalmente, vários autores têm argumentado que o conceito de organismo, de forma geral, perdeu seu papel central na Biologia, devido à crescente ênfase nos aspectos moleculares e ao fato de a biologia evolutiva darwinista não ter atribuído um papel explicativo claro ao organismo em sua estrutura conceitual (Lewontin, 1978, 2002; Goodwin, 1994; Feltz, 1995; Webster e Goodwin, 1999; El-Hani e Emmeche, 2000; Ruiz-Mirazo e col., 2000; Gutmann e Neumann-Held, 2000; El-Hani, 2002; Sepúlveda e col., 2011). Como consequência, segundo Lewontin (2000), os organismos passaram a

ser entendidos como entidades passivas, decorrentes da interação entre genes e ambiente:

“Os seres vivos são vistos como sendo organismos determinados por fatores internos, ou seja, os genes. [...] O mundo fora de nós coloca certos problemas, que não criamos, mas que apenas experimentamos como objetos. Os problemas são: encontrar um cônjuge, encontrar alimento, vencer as competições com os rivais, adquirir uma grande parte dos recursos do mundo, e se tivermos os tipos certos de genes, seremos capazes de resolver os problemas e deixar mais descendentes. Portanto, com essa visão, são realmente nossos genes que estão se propagando através de nós mesmos.” (Lewontin, 2000, p. 17)

Nessa formulação, criticada por Lewontin, o organismo, enquanto entidade real que age sobre o meio, mo-

dificando-o, ocupa um papel secundário. Como afirmam Ruiz-Mirazo e col. (2000), as pesquisas biológicas enfatizam níveis de organização mais restritos que aquele no qual se encontra o organismo, como vemos, por exemplo, na biologia molecular e em formulações gene-cêntricas da teoria evolutiva, ou mais inclusivos, como em outras formulações da biologia evolutiva e na ecologia. Tem sido usual, na biologia contemporânea, não pensar o organismo como totalidade e, assim, este não é abordado mediante a investigação de propriedades que emergem no nível orgânico de complexidade. Nesse sentido, Webster e Goodwin destacam a necessidade de:

“[...] reafirmação do organismo como o próprio objeto da pesquisa biológica: um objeto real, existindo em seu próprio modo e explicado em seus próprios termos.” (Webster e Goodwin, 1999, p. 495)

Estes autores ressaltam, pois, a importância da compreensão do organismo como elemento central do conhecimento biológico. Nesse contexto, é fundamental perceber que a redução extrema dos fenômenos biológicos às análises moleculares e aos estudos da constituição química e física das células pode fazer com que a Biologia perca seu *status* de ciência autônoma. Apesar de as pesquisas moleculares e das interações entre a Biologia e campos distintos do conhecimento, como a Física e a Química, serem fundamentais para o desenvolvimento do conhecimento biológico, os fenômenos biológicos não podem ser explicados somente a partir de uma abordagem reducionista da Biologia. Os sistemas vivos têm modos de organização que lhes são próprios e que não devem ser perdidos de vista na explicação dos processos vitais, não obstante a necessidade de também investigar as bases físicas e químicas de tais processos. Além disso, eles devem ser estudados levando em consideração a existência de propriedades que emergem no organismo devido a certos tipos de padrões organizativos. Portanto, o enfoque no organismo ajuda a caracterizar a Biologia como uma ciência autônoma, delineando seus contornos em relação aos outros domínios da ciência. Por exemplo, pode-se questionar como a Biologia se distingue da Química. A resposta a essa pergunta pode ser pautada pela definição dos diferentes objetos de estudo dessas ciências. Assim, apesar da ênfase atual nos componentes moleculares dos sistemas vivos, a Biologia tem como foco de estudo (ou, ao menos, deveria ter) o organismo, ou seja, como o organismo se constitui mediante as interações moleculares e ambientais. Na Química, por sua vez, o foco da investigação recai sobre as moléculas, como elas são constituídas e interagem umas com as outras.

Nesse cenário, torna-se fundamental explicar claramente o que é o organismo. Pepper e Herron (2008) consideram que, apesar da existência de tentativas de conceituar o organismo e da importância fundamental dessa conceituação em algumas áreas da Biologia, foram realizadas poucas tentativas para uma definição mais consistente desse conceito. Portanto, de modo a contribuir com o debate, busca-se neste texto explicitar um conceito de organismo mediante uma abordagem hierárquica e sistêmica

da Biologia, que se contrapõe a uma visão reducionista.

O conceito de organismo em debate

Uma das primeiras definições modernas de organismo foi proposta por Kant, estando associada à ideia de auto-organização (Keller, 2005). Para Kant ([1892] 1914), o organismo é um produto natural organizado, no qual todas as partes são ao mesmo tempo finalidade e meio, ou seja, ao mesmo tempo em que as partes contribuem para a organização do todo, também são consequências desse modo de organização. Este tipo de organização é obtida pela relação estabelecida entre as partes, sem um organizador externo, isto é, o organismo é *auto-organizado*. Desta perspectiva, o organismo é considerado uma entidade capaz de se autorregular, autogerar e autogerar, apresentando um tipo especial de arranjo, que é auto-organizado (Keller, 2005, p. 1070).

A delimitação do conceito de organismo por meio de um processo de auto-organização começa a apresentar problemas quando outros fenômenos passam a ser explicados por processos auto-organizativos, como, por exemplo, fenômenos físicos como a formação de ciclones. Para delimitar o conceito de auto-organização dentro de uma perspectiva biológica, buscou-se descrever os seres vivos através da junção do conceito de auto-organização a uma visão evolutiva. Uma das tentativas de unificar essas duas ideias, mediante a ampliação da teoria evolutiva, foi realizada por Kauffman (1993, 1995, 1997) o qual entende que a seleção natural é uma força atuante na evolução dos seres vivos, mas não a única. Para o autor, a complexidade encontrada, por exemplo, em uma célula pode ser decorrência mais de um processo auto-organizado e espontâneo do que de um processo seletivo. Nesse contexto, o papel do ambiente é selecionar e manter sistemas complexos que apresentam uma ordem espontânea.

A definição de organismo é complexa e tem um longo caminho na História da Biologia, estando associada a conceitos como auto-organização, causalidade circular e emergência. Além disso, o termo “organismo” é utilizado em outras áreas, como Filosofia, História, Sociologia e Economia, como uma forma de descrever as relações entre partes e todo (Gutmann e Neumann-Held, 2000) e identificar a presença de uma organicidade que se remete à coesão entre partes e todo encontrada em seres vivos.

Justamente por ser um termo que faz referência a um tipo de organização que é característico dos seres vivos (quando se considera a auto-organização somada ao contexto da evolução biológica), defende-se o conceito de organismo como estruturante do conhecimento biológico. A utilização da palavra “organismo” enfatiza aspectos de autonomia e a capacidade do sistema de criar significado (Ruiz-Mirazo e col., 2000, p. 210). Portanto, quando se utiliza o termo, fica subentendido que os seres vivos se diferenciam da matéria inanimada pela forma como seus componentes (ou seja, as partículas físico-químicas) estão organizados, e não pelo tipo dos componentes.

Pode-se alegar que a ciência atual tem dificuldade ao demarcar os limites desse tipo de organização, pois, em

geral, busca um conceito único que sirva para os vários contextos biológicos. Além disso, as tentativas de categorizar os fenômenos naturais, muitas vezes, não levam em consideração a inexistência de limites exatos na natureza, uma vez que as interações moleculares variam desde interações mais simples que ocorrem na matéria inanimada até àquelas complexas interações que ocorrem nos seres vivos, sendo que a fronteira entre o não vivo e o vivo na história evolutiva não está clara. Também é importante evidenciar que um conceito de organismo é uma representação que funciona na identificação e delimitação dos seres vivos a partir de uma determinada fundamentação teórica, isto é, funciona a partir da aceitação de uma determinada rede conceitual.

Desse modo, buscou-se evidenciar alguns conceitos que têm sido enfatizados na delimitação dos seres vivos, tais como sistema, auto-organização, autonomia, agência, emergência e fechamento organizacional, na tentativa de construir uma rede conceitual na qual possa ser explicitado um conceito de organismo¹.

O conceito de organismo e o problema da auto-organização biológica

A elucidação do conceito de organismo está relacionada à compreensão do conceito de sistema, o qual se refere à percepção e/ou à formação de um limite que determina os componentes, de tal maneira que possamos individualizar o sistema como um conjunto de componentes que estabelecem certa estrutura de relações, diferenciando-se de um ambiente externo ao sistema. Na base da constituição de um sistema, como o organismo, existe um *fechamento organizacional*, ou seja, a manutenção de relações circulares entre as partes do sistema, que se sustentam mutuamente. É a manutenção desse fechamento organizacional que permite reconhecer cada ser vivo como único. Este fechamento não precisa ter, necessariamente, a natureza de uma divisão estanque e rígida entre organismo e ambiente: mais do que apontar uma fronteira estrutural que separa organismo e meio, podemos pensar num fechamento de processos (*process closure*) pertinentes ao organismo como um sistema. Podemos citar o fato, por exemplo, de que, apesar de um animal se modificar durante sua vida, existem relações organizacionais que permitem não só distingui-lo do ambiente externo, como também reconhecê-lo, apesar das transformações, como sendo o mesmo organismo. Portanto, reconhece-se cada organismo como um sistema parcialmente aberto a trocas de energia, matéria e informação, mas que se caracteriza pela manutenção de certas relações de organização ou por certo fechamento processual.

O *fechamento organizacional* está relacionado ao

conceito de *auto-organização*, ou seja, à formação e à organização de uma estrutura ordenada a partir da interação das partes do próprio sistema. Moreno (2004) sustenta que os seres vivos têm uma forma particular de auto-organização, a qual ele designa por *autonomia coletivamente organizada*.

O termo “autonomia” é utilizado para designar um sistema capaz de ser mantido de forma adaptativa, exercendo suas ações dentro de um ambiente variável. A ideia de autonomia requer uma identidade distinta, pressupondo não somente a distinção entre sistema e ambiente, mas também a possibilidade de esta distinção ser realizada pelo próprio sistema. Para Moreno (2004), as primeiras formas autônomas poderiam ter surgido no ambiente pré-biótico, apresentando um grau elevado de autonomia, por serem sistemas extremamente fechados em si mesmos, mas limitados quanto à possibilidade de aumento de complexidade. No entanto, para a evolução de sistemas vivos diversificados, seria necessária a inserção de sistemas autônomos individuais em redes de conexão com outros indivíduos, daí emergindo níveis superiores da organização biológica, como comunidades e ecossistemas. Decorre dessa explicação a ideia de *autonomia coletivamente organizada*, na qual os seres vivos constituem um tipo especial de autonomia, aberta evolutivamente, e não restrita ao âmbito individual. Os organismos possuem uma conexão histórico-coletiva e estão inseridos em um meta-sistema mais amplo, permitindo a origem de sistemas ecológicos capazes de reciclar componentes necessários à sustentação da organização individual de base. Assim, ao preço da perda de uma autonomia completa no nível individual, a meta-organização biológica permitiu a articulação de formas de vida de modo indefinidamente sustentável.

Etzeberria e Moreno (2007, p. 30) refinam o conceito de autonomia nos seres vivos mediante a associação da autonomia à capacidade de agência. Estes autores procuram diferenciar o que é o sistema, o *ser*, e o que é sua agência, o *fazer*. Para eles, a identidade do sistema deve aparecer como uma organização estável da qual derivam ações para o exterior do sistema, devendo-se distinguir entre processos *constitutivos* e *interativos*. Essa distinção é por eles exemplificada mediante o fenômeno de bombeamento ativo de íons nas células:

“[...] o bombeamento ativo de íons é necessário para manter o funcionamento da célula (que, do contrário, explodiria como consequência de uma crise osmótica). Mas este bombeamento, que implica uma forma de “trabalho”, porque é um transporte da célula contra um gradiente de concentração, requer uma sub-organização interna de diferentes reações encadeadas. A célula mantém seu funcionamento graças ao bombeamento de íons (processo interativo), o qual requer um mecanismo interno (processo constitutivo), que, por sua vez, em escala temporal mais ampla, depende indiretamente da correta realização do processo de bombeamento. Em outras palavras, ainda que, em última instância, o fazer do sistema (re)genere recursivamente seu ser, tem de haver uma dupla escala temporal no processo, que permita falar de um sistema com

1 Os conceitos apresentados na explicitação do organismo são fundamentados na tese de doutorado da primeira autora (Meghioratti, 2009) e na discussão realizada no capítulo “A centralidade do conceito de organismo no conhecimento biológico e no ensino de biologia” (Meghioratti, El-Hani e Caldeira, 2009) do livro “Ensino de Ciências e Matemática II: Temas sobre formação de conceitos”.

identidade agencial. Este deve aparecer como uma forma de organização mais complexa do que as ações que se produzem a cada momento. Se não for assim, estaríamos diante de um processo meramente automatizado, mais do que frente a um verdadeiro caso de autonomia.” (Etxeberria e Moreno, 2007, p. 31)

Etxeberria e Moreno (2007) consideram que um sistema autônomo deve possuir algum tipo de sub-organização capaz de regular os fluxos de matéria e energia entre o sistema e seu entorno, ou seja, para um sistema ser considerado autônomo, devem existir ações deste sobre o meio externo, configurando uma autonomia com capacidade agencial, ou, de modo mais breve, uma *autonomia agencial*. Os conceitos de autonomia e agência discutidos auxiliam na delimitação de organismos em casos fronteiros, tais como os insetos sociais, no qual o conjunto de indivíduos poderia ser considerado um superorganismo, já que cada indivíduo tem uma função específica e há, inclusive, em muitas espécies uma separação entre organismos reprodutivos e organismos não reprodutivos. Quando se utiliza a perspectiva da agencialidade associada à organização hierárquica dos processos biológicos, podem ser reconhecidos como organismos:

“[...] aqueles sistemas nos quais as relações funcionais de suas partes integrantes formam um todo com um maior grau de integração funcional do que a existente entre os sistemas que formam a unidade superior.” (Etxeberria e Moreno, 2007, p. 34)

Assim, no caso dos insetos sociais, é possível perceber maior integração funcional, isto é, a coesão na realização de uma dada função, entre os componentes que constituem a abelha do que entre as diferentes abelhas da colmeia. Portanto, o núcleo da autonomia agencial estaria no nível da abelha individual, podendo esta ser considerada como o organismo.

Uma abordagem hierárquica do conceito de organismo

A concepção de uma autonomia agencial relativa ao nível do organismo individual e de sua inserção em níveis superiores de organização pode ser modelada por meio de uma hierarquia escalar, tal como proposta por Salthé (1985). Este autor estabelece uma estrutura organizativa para a compreensão de um determinado fenômeno de interesse baseada em três níveis escalares de complexidade: o nível superior (que estabelece condições de contorno para as entidades e os processos que ocorrem no nível focal); o nível focal (no qual se encontram as entidades e processos de interesse); e o nível inferior (que gera as interações das quais emergem as entidades e os processos envolvidos no fenômeno de interesse, ou seja, são as condições iniciadoras de tais processos e entidades). Para representar essa estrutura hierárquica, pode-se utilizar a seguinte notação: [nível superior [nível focal [nível inferior]]].

A representação hierárquica de Salthé (1985) é por

nós utilizada como base para o estabelecimento de três níveis de organização relativos às estruturas e aos processos biológicos, tomando-se o *organismo* como nível focal, o *ambiente externo* como nível superior (entendendo como ambiente os fatores do meio externo que são relevantes para determinado organismo, no sentido proposto por Lewontin, 2002) e o *ambiente interno* como nível inferior (incluindo, por exemplo, elementos tissulares, celulares e moleculares). Dessa forma, considera-se o organismo como ponto central da discussão, assumindo sua unidade e autonomia por meio das relações engendradas pelos seguintes níveis: [ambiente externo (ecológico/evolutivo) [organismo [ambiente interno (tissular/celular/molecular)]]]. A colocação do organismo no nível focal deste modelo hierárquico reflete um posicionamento a favor de uma compreensão da biologia como uma ciência do organismo.

Relacionada à estrutura hierárquica da organização biológica, está a ideia de propriedades emergentes, ou seja, de propriedades observadas ao nível de um sistema como um todo, que, embora relacionadas à micro-estrutura do sistema, não são redutíveis às propriedades e relações das partes do sistema (El-Hani e Emmeche, 2000; El-Hani, 2002; El-Hani e Queiroz, 2005). Assim, em um sistema complexo como o organismo, novas propriedades surgem especificamente no nível do sistema como um todo, por exemplo, um determinado comportamento animal, não podendo este ser explicado apenas pela análise da constituição e dos mecanismos moleculares.

Tomando como exemplo um organismo unicelular, seu padrão organizacional emergente depende das interações ocorridas no nível imediatamente inferior (interações moleculares) e no nível imediatamente superior (restrições impostas pelos regimes seletivos e por outros fatores evolutivos, ao longo da evolução do organismo e, no tempo ecológico, por suas interações com o ambiente físico-químico e com outros organismos). Entretanto, o organismo unicelular não deve ser compreendido apenas como ponto de encontro entre os níveis inferior e superior. O organismo é caracterizado por sua autonomia e agência, o que implica que ele tem regras próprias e flexibilidade na interação com o meio externo, agindo sobre este e modificando-o, não podendo ser considerado apenas um ente passivo.

Explicitando o conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da biologia

Os conceitos discutidos anteriormente se relacionam em uma rede conceitual que permite a explicitação do conceito de organismo em uma abordagem sistêmica e hierárquica do conhecimento biológico. Esta rede conceitual está sintetizada nos itens a seguir, que apresentam uma compreensão do organismo como:

- Sistema complexo, com *fechamento organizacional* (de processos) resultante de *relações circulares* entre as partes do sistema, conferindo coesão ao sistema e gerando um limite dinâmico que separa o sistema do ambiente externo.
- As *relações circulares* e o *fechamento organizacional*, gerados dentro do próprio sistema, são tratados como

partes de um *processo auto-organizado*.

- Os seres vivos apresentam um tipo particular de *auto-organização* chamada de *autonomia agencial*, ou seja, a identidade do sistema aparece como uma organização estável da qual derivam ações para o exterior do sistema. O agente autônomo, ou seja, o organismo, é definido mediante uma *perspectiva hierárquica*, sendo considerado o nível do organismo aquele que apresenta maior integração funcional quando comparado aos níveis superiores de organização.

- No nível orgânico, aparecem propriedades irreduzíveis às propriedades e relações de suas partes. Portanto, os organismos apresentam *propriedades emergentes*, cuja irreduzibilidade deve ser entendida em termos de sua não-dedutibilidade das propriedades que as partes exibem em estruturas relacionais mais simples (El-Hani e Queiroz, 2005). As próprias ações dos organismos acontecem no nível orgânico, portanto, a capacidade de *agência* pode ser considerada uma *propriedade emergente* desse nível de organização hierárquica.

- Os organismos estão integrados em *níveis hierárquicos* superiores de organização, tais como populações, comunidades e ecossistemas. A inserção nesses níveis tem grande influência sobre a manutenção do nível orgânico. Nestes termos, os organismos podem ser concebidos como unidades autônomas *coletivamente organizadas*, inseridos em processos ecológicos e evolutivos que são fundamentais para a sua manutenção.

Os termos destacados nos itens acima evidenciam a relação conceitual entre eles e, assim, como eles se justificam mutuamente. Estes diferentes conceitos podem ser integrados na seguinte formulação do conceito de organismo: *um organismo é uma unidade autônoma com capacidade de agência, coletiva e evolutivamente construída, e possuindo propriedades que emergem no nível orgânico*.

Considerações finais

O destaque dado à capacidade de agência na formulação do conceito apresentado permite compreender o organismo como tendo um papel ativo no seu ambiente, contrapondo-se à visão do mesmo como ente passivo, tal como encontramos tanto numa abordagem reducionista da biologia, quanto, de modo geral, na teoria sintética da evolução.

Agradecimentos

O desenvolvimento do trabalho foi parcialmente financiado pela CNPq.

Contribuição dos autores

O trabalho fundamenta-se na tese de doutorado da primeira autora, com co-orientação do segundo autor e orientação da terceira autora.

Referências

El-Hani CN. 2002. Uma ciência da organização viva: organicismo,

emergentismo e ensino de biologia. In: Silva Filho W, organizador. Epistemologia e ensino de ciências. Salvador: Arcádia 199-242.

El-Hani CN e 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 CN e Queiroz J. 2005. Modos de irreduzibilidade das propriedades emergentes. *Scientiae Studia* 3 (1): 9-41.

Etzeberria A e Moreno Á. 2007. La Idea de autonomia em biologia. *Logos. Anales del Seminario de Metafísica* 40: 21-37.

Feltz B. 1995. Le réductionnisme em biologie. *Approches historique et épistemologique. Revue Philosophique de Louvain* 93: 9-32.

Goodwin B. 1994. How the Leopard Changed its Spots: the evolution of complexity. New York: Touchstone.

Gutmann M e Neumann-Held E. 2000. The theory of organism and the culturalist foundation of biology. *Theory in Biosciences* 119: 276-317.

Kant I. 1914 [1892]. The critique of judgment. Tradução, introdução e notas J. H. Bernard. 2ed. revisada. London: Macmillan. Disponível em: http://oll.libertyfund.org/EBooks/Kant_0318.pdf Acesso em 30 de março de 2011.

Kauffman SA. 1993. The origins of order: self-organization and selection in evolution. New York: Oxford: Oxford University Press.

Kauffman SA. 1995. At home in the universe: the search for the laws of self-organization and complexity. New York: Oxford: Oxford University Press.

Kauffman SA. 1997. "O que é vida?": Schrödinger estava certo? In: Murphy MP e O'Neill LAJ, organizadores. "O que é vida?" 50 anos depois. Especulações sobre o futuro da biologia. São Paulo: Editora da UNESP 101-136.

Keller EF. 2005. The century beyond the gene. *Journal of Biosciences* 30: 3-10.

Lewontin R. 1978. Adaptation. *Scientific American* 249: 212-222.

Lewontin R. 2000. Biologia como ideologia: a doutrina do DNA. Ribeirão Preto: FUNPEC-RP.

Lewontin R. 2002. A tripla hélice: gene, organismo e ambiente. São Paulo: Companhia das Letras.

Meghlhioratti FA. 2009. O conceito de organismo: uma introdução à epistemologia do conhecimento biológico na formação de graduandos de biologia. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – UNESP/Bauru, Faculdade de Ciências.

Meghlhioratti FA, El-Hani CN e Caldeira AMA. 2009. A centralidade do conceito de organismo no conhecimento biológico e no ensino de biologia. In: Caldeira AMA, organizadora. Ensino de Ciências e Matemática II: Temas sobre formação de conceitos. São Paulo: Cultura Acadêmica 33-52.

Moreno A. 2004. Auto-organisation, autonomie et identité. *Revue Internationale de Philosophie* 2: 135-150.

Pepper JW e Herron MD. 2008. Does Biology Need an Organism Concept? *Biological Reviews* 83 (4): 621-627.

Ruiz-Mirazo K, Etzeberria A, Moreno A e Ibanez J. 2000. Organisms and their place in biology. *Theory in biosciences* 119 (3-4): 209-233.

Salthe S. 1985. Evolving hierarchical systems: their structure and representation. New York: Columbia University Press.

Sepúlveda C, Meyer D e El-Hani CN. 2011. Adaptacionismo. In: Abrantes PC, organizador. Filosofia da Biologia. Porto Alegre: Artmed 162-192.

Webster G e Goodwin BC. 1999. A Structuralist Approach to Morphology. *Rivista di Biologia* 92: 495-498.

As concepções evolutivas de Darwin sobre a expressão das emoções no homem e nos animais

Darwin's evolutionary conceptions on the expression of emotions in man and animals

Fernando Moreno Castilho¹, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins²

¹Departamento de Ciências Biológicas, Centro Universitário Anhanguera

²Departamento de Biologia da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Campus Ribeirão Preto

Contato dos autores: ¹biologo@universo.com, ²lacpm@ffclrp.usp.br

Resumo. O trabalho mais conhecido de Charles Darwin é o *Origem das espécies* (1859). No entanto, nesta obra ele não lidou com o homem. Ele fez isso em duas outras obras: *The descent of man* (1871) e *The expression of emotions in man and animals* (1872). O objetivo deste artigo é discutir algumas concepções evolutivas presentes nessas duas obras bem como alguns de seus antecedentes. Este estudo levou à conclusão de que embora Darwin considerasse a seleção natural como um importante meio de modificação em relação à expressão das emoções no homem e nos animais, enfatizou o papel da herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso em relação a este assunto. **Palavras-chave.** *História da Evolução, Charles Darwin, expressão das emoções no homem e animais.*

Abstract. Charles Darwin's most known work is the *Origin of species*. However in such book, he did not deal with man. So he did in two other books: *The descent of man* and *The expression of emotions in man and animals*. This article aims to discuss some evolutionary conceptions present in these two works, as well as its background. This study led to the conclusion that although Darwin considered natural selection as being an important way of modification concerning the expression of emotions in man and animals, he stressed the role of the inheritance of acquired characteristics by use and disuse in relation to this subject.

Keywords. *History of Evolution, Charles Darwin, expression of emotions in man and animals.*

Recebido 05nov11
Aceito 01dez11
Publicado 15dez12

Introdução

Dentre os trabalhos de Charles Robert Darwin (1809-1882), o *Origem das espécies* (1859) é o mais conhecido. Entretanto, nesta obra ele não lidou com o homem. Ele tratou deste assunto em duas publicações posteriores: a *Origem do homem e a seleção sexual* (1871) e a *Expressão das emoções no homem e nos animais* (1872).

A análise da *Origem das espécies* mostra que nesta obra Darwin apresentou como principal meio de modificação das espécies a seleção natural. Entretanto, sugeriu também outras possibilidades, tais como a seleção sexual e a herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso, por exemplo (Martins, 2006, pp. 263-264; Carmo, 2006).

Bem menos conhecida que a *Origem das espécies*, *A expressão das emoções no homem e nos animais* é composta por 13 capítulos. Neles, Darwin tratou dos princípios gerais da expressão, os meios de expressão nos animais, as expressões especiais de animais, expressões especiais do homem: sofrimento e choro; desânimo, ansiedade, tris-

teza, abatimento e desespero; alegria, bom humor, amor, sentimentos de ternura e devoção; reflexão, meditação, mau humor, amuo e determinação; ódio e raiva; desdém, desprezo, nojo, culpa, orgulho, desamparo, paciência, afirmação e negação; surpresa, espanto, medo e horror; preocupação consigo mesmo, vergonha, timidez e modéstia. Ele apresentou descrições detalhadas de expressões manifestadas mediante situações comportamentais que observara, ou relatadas por seus correspondentes, acompanhadas de figuras, gravuras e fotografias, utilizadas para reforçar seus argumentos (Castilho, 2010, pp. 5-6).

Segundo Alfred Russel Wallace (1823-1913), nesta obra Darwin apresentou de modo sistemático o resultado de suas investigações feitas a partir da observação das paixões e emoções nos animais sobre as causas dos fenômenos mais variados e complexos apresentados pelos seres vivos, reconhecendo os fatores fisiológicos e psicológicos envolvidos nos inúmeros movimentos complexos e contrações musculares (Wallace, 1873, p. 113). Ele assim descreveu o livro:

“O livro está ilustrado admiravelmente, tanto por xilogravuras como por uma série de fotografias que representam as expressões mais características. Está escrito com toda clareza e precisão habituais do autor, e embora algumas partes sejam um pouco maçantes, considerando a quantidade de detalhes diminutos, há no todo um tanto de observação aguda e anedota engraçada, talvez para torná-lo mais atraente para os leitores em geral, mais do que qualquer um dos trabalhos anteriores do Sr. Darwin.” (Wallace, 1873, p. 118)

Ao que tudo indica, a motivação para investigar a expressão das emoções foi a leitura de uma obra do anatomista Charles Bell (1774-1842) Segundo este autor, determinados músculos do homem existiam apenas para a expressão das emoções. Como para Darwin esta visão se opunha à hipótese de que o homem descendia de alguma forma inferior, resolveu analisá-la (Darwin, 1871, vol. 1, p. 5).

O objetivo deste artigo é discutir sobre os aspectos evolutivos apresentados por Darwin em relação à expressão das emoções no homem e animais bem como sobre alguns de seus antecedentes.

Semelhanças encontradas entre expressões apresentadas pelo homem e alguns animais

Um ano antes de publicar *A expressão das emoções no homem e nos animais*, Darwin apresentou diversos argumentos favoráveis à descendência do homem a partir de formas inferiores. Por exemplo, o fato de certas expressões de felicidade mostradas por filhotes de cães, gatos e carneiros serem idênticas às expressões exibidas por crianças que estão brincando juntas (Darwin, 1871, vol. 1, p. 37).

O naturalista inglês deu vários exemplos da expressão de emoções que podiam ser detectadas tanto nos animais como no homem, tais como: mau-humor e a boa disposição de cães e cavalos; a tendência a manifestar fúria por parte de certos animais; a vingança arquitetada por diversos animais; o amor e o carinho de um cão para com o seu dono na agonia da morte; a afeição materna das fêmeas de todas as espécies; a dor intensa das macacas pela perda dos filhotes; a adoção de macacos órfãos pelos outros do bando; a generosidade de certas fêmeas de babuínos ao adotarem macacos de outras espécies, além de roubarem cãezinhos e gatinhos para criar. A partir desses exemplos, Darwin argumentou que o princípio de sua ação seria o mesmo no homem e nos animais. Outras expressões de emoções como terror e medo, seriam abordadas mais tarde em capítulos do seu livro dedicado ao estudo da expressão das emoções (Darwin, 1871, vol. 1, pp. 40-41; Castilho, 2010, pp. 43-44).

Ao comparar as feições de humanos com as feições de macacos antropóides, constatou que havia semelhanças na expressão das emoções em relação à movimentação dos músculos da face. Ele explicou:

Diversas emoções são manifestadas por movimentos quase similares dos músculos e da pele, especialmente

acima das sobrancelhas e ao redor da boca; algumas dessas expressões chegam a ser praticamente as mesmas, como o choro de certos tipos de macacos e a risada de outros, durante a qual os cantos da boca são repuxados para trás e as pálpebras franzidas. (Darwin, 1871, vol. 1, p. 191)

Dificuldades envolvidas no estudo da expressão no homem

Darwin tinha consciência das dificuldades envolvidas em detectar a origem dos hábitos de expressão dos sentimentos humanos e o modo pelo qual eles teriam sido adquiridos gradualmente através de certos movimentos musculares. Em primeiro lugar, os movimentos eram muito lentos, sutis e duravam pouco. Outro problema encontrado consistia em determinar até que ponto as mudanças de traços ou gestos expressavam realmente determinados estados de espírito (Darwin, 1872, pp. 19-20).

Para superar essas dificuldades o naturalista inglês propôs a observação de crianças, já que estas mostravam diversas emoções, e de loucos, que mostravam suas paixões de forma descontrolada. Sugeriu também a consulta a pessoas cultas de ambos os sexos e de diferentes faixas etárias e de observação de fotografias e gravuras de grandes mestres da pintura e escultura. Propôs ainda a observação de gestos e expressões de raças humanas que tinham tido pouco contato com os europeus, além das expressões encontradas nos animais mais conhecidos. Considerou que a adoção destes procedimentos reduziria a possibilidade de cometer enganos no reconhecimento de alguns tipos de expressão, evitando que o observador fosse levado pela imaginação e proporcionaria uma base mais segura para se fazer uma generalização das causas dos movimentos de expressão (Darwin, 1872, pp. 14-18).

O estudo das expressões e gestos nas raças humanas de nativos

Em 1867, com o intuito de estudar as expressões e gestos nas raças humanas de nativos, Darwin divulgou um folheto impresso intitulado “Queries about expression” (“Questões sobre a expressão”). Neste, ele apresentou uma série de questões que havia elaborado e o enviou para pessoas que estavam em contato com povos primitivos em diferentes regiões do mundo, tais como missionários ou protetores de aborígenes. Recebeu desses últimos um total de 36 respostas, que considerou valiosas devido às circunstâncias em que tinham sido obtidas. Reproduziu as questões cujas respostas serviram de base para a elaboração da *Expressão das emoções no homem e nos animais* (Castilho, 2010, p. 37). As questões foram as seguintes:

1. Exprime-se a surpresa pelo arregalar dos olhos e da boca e pela elevação das sobrancelhas?
2. A vergonha produz enrubescimento, quando a cor da pele nos permite percebê-lo? Se sim, até onde desce pelo corpo?
3. Quando um homem está indignado ou desafiador, ele franze o cenho, mantém cabeça e corpo erguidos, apruma os ombros e cerra os punhos?

4. Quando se concentra ou tenta resolver algum problema, ele franze o cenho ou enrugando a pele abaixo das pálpebras inferiores?

5. Quando abatido, desce os cantos da boca e eleva a extremidade interna das sobrancelhas pela ação desse músculo que os franceses apelidaram de “músculos de sofrimento”? Nesse estado, as sobrancelhas fazem-se levemente oblíquas, com um pequeno inchaço em sua extremidade medial; e o meio da testa fica enrugado, não toda a sua extensão, como quando se elevam as sobrancelhas exprimindo surpresa?

6. Quando satisfeito, brilham seus olhos, enrugando-se a pele em volta destes e retraem-se os cantos da boca?

7. Quando um homem olha para outro com desprezo ou ironia, ergue-se o canto do lábio superior por sobre o canino do lado pelo qual ele o está encarando?

8. Pode uma expressão de obstinação e tenacidade ser reconhecida principalmente pela boca firmemente fechada, pelo cenho baixo e pelas sobrancelhas levemente franzidas?

9. O desdém é exprimido por uma leve protrusão dos lábios e discreta expiração com o nariz empinado?

10. Manifesta-se o nojo virando-se o lábio inferior para baixo e elevando-se levemente o lábio superior com uma súbita expiração, como um vomitar incipiente ou cuspir?

11. O medo extremo é expresso aproximadamente da mesma maneira que o fazem os europeus?

12. O riso pode chegar ao extremo de fazer com que lacrimejem os olhos?

13. Quando um homem quer demonstrar que não pode impedir algo ou que ele mesmo não consegue fazer alguma coisa, ele encolhe os ombros, vira para dentro os cotovelos e estende as mãos para fora com as palmas abertas; e as sobrancelhas são erguidas?

14. As crianças, quando emburradas, fazem bico ou protraem fortemente os lábios?

15. Expressões de culpa, malícia ou ciúme podem ser reconhecidas, ainda que eu não consiga defini-las?

16. Balança-se a cabeça verticalmente na afirmação e horizontalmente na negação? (Darwin, 1872, pp. 16-17).

Além das respostas do questionário enviadas pelos seus colaboradores, Darwin, baseou-se também nas informações obtidas em livros de viagens escritos por outros naturalistas (Darwin, 1872, p. 23).

As conclusões de Darwin

Baseando-se em suas próprias observações, bem como naquelas feitas por outros autores com os quais tinha um contato mais próximo ou se correspondia, aos quais deu o devido crédito, Darwin tirou algumas conclusões. A seu ver, devido à grande semelhança existente entre as expressões faciais e os gritos inarticulados emitidos pelo homem e pelos animais quando expostos às mesmas condições, essas características teriam sido adquiridas, provavelmente, como herança de alguma forma silvestre de parentesco próximo, o que se harmonizava com sua tese da descendência de um ancestral comum (Darwin,

1871, vol. 1, pp. 232-233).

Darwin aventou a possibilidade de que algumas ações humanas executadas inicialmente de forma consciente, tivessem sido convertidas, pela força do hábito e da associação, em ações reflexas. Estas teriam sido herdadas e fixadas firmemente, sendo executadas quando houvesse um estímulo para isso ou quando as mesmas causas que originalmente as haviam provocado reaparecessem, mesmo quando não tivessem a menor utilidade. Seriam executadas de forma inconsciente pela ação das células nervosas sensitivas que excitariam nossas células motoras. Como exemplo, comentou que o espirro e a tosse poderiam ter sido adquiridos em um período muito remoto através do hábito de expelir violentamente partículas irritantes das vias aéreas e que com o tempo teriam se tornado inatos e teriam sido convertidos em ações reflexas para quase todos os quadrúpedes superiores (Darwin, 1872, pp. 41-42). Nesse caso, o mecanismo seria a herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso (Castilho, 2010, p. 47).

De acordo com Darwin, os movimentos violentos difundidos sem direção pelas primeiras células nervosas afetadas, como os dos órgãos vocais responsáveis pela fala e que produzem o grito, teriam sido adquiridos através do antigo hábito consciente de que a utilização do esforço muscular expressivo para tentar escapar do sofrimento aliviaria a dor (Darwin, 1872, pp. 76-77). Ele comentou:

As ações reflexas estão sujeitas a pequenas variações, como todas as estruturas corpóreas e instintos; e toda variação que fosse benéfica e suficientemente importante tenderia a ser preservada e herdada. Portanto, ações reflexas, uma vez adquiridas para uma finalidade, podem depois ser modificadas independentemente da vontade e do hábito, para servir a outra finalidade. Tais casos fariam paralelo com aqueles que, temos todas as razões para acreditar, ocorreram com muitos instintos; pois, se alguns instintos foram desenvolvidos simplesmente por um longo e hereditário hábito, outros, altamente complexos, o foram por meio da preservação de variações de instintos preexistentes – ou seja, por meio da seleção natural (Darwin, 1872, pp. 43-44).

Desse modo, Darwin propôs dois mecanismos evolutivos que atuavam em relação à expressão das emoções do homem e animais: a herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso e a seleção natural. Entretanto, na maior parte dos exemplos apresentados nas duas obras analisadas, recorreu à herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Educação do Estado de São Paulo, ao CNPq e à FAPESP. Artigo baseado na dissertação de mestrado de FM Castilho. LAP Martins é bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.

Referências

Carmo VA. 2006. Concepções evolutivas de Charles Darwin no *Origin of species* e de Alfred Russel Wallace em *Darwinism: um estudo comparativo*. Dissertação. [Mestrado em

História da Ciência] – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

Castilho FM. 2010. Concepções evolutivas de Charles Darwin na Origem das espécies (1859) e na Expressão das emoções no homem e nos animais (1872): um estudo comparativo. Dissertação. [Mestrado em História da Ciência] – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

Darwin C. 1859. On the origin of species by means of natural selection. London: John Murray.

Darwin C. 1871. The descent of man, and selection in relation to sex. Vol. 1. London: John Murray. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk> Acesso em setembro 2011.

Darwin C. 1872. The expression of the emotions in man and animals. London: John Murray. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/> Acesso em setembro de 2011.

Martins LACP. 2006. Materials for the study of variation de William Bateson: um ataque ao Darwinismo? In: Martins LACP, Regner ACKP e Lorenzano P. Ciências da vida: estudos filosóficos e históricos. Campinas: AFHIC 259-282

Wallace AR. 1873. [Review of] The expression of the emotions in man and other animals by Charles Darwin. Quarterly Journal of Science 3 (37): 113-118. Disponível em <http://www.darwin-online.org.uk/> Acesso em setembro 2011.

Moneras e individualidade biológica: alguns elementos do conceito de monera de Ernst Haeckel

Moneras and biological individuality: some elements of the concept of monera of Ernst Haeckel

Guilherme Francisco Santos

Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo

Contato do autor: guilherme.fsantos@usp.br

Resumo. Ernst Haeckel formulou e desenvolveu uma proposta de morfologia evolucionista na qual ocupa um lugar central o conceito de monera. As moneras são para ele os organismos mais simples e primitivos, a partir dos quais é possível investigar a passagem do inorgânico ao orgânico, as bases iniciais para toda a evolução e desenvolvimento dos seres vivos e o aparecimento da individualidade orgânica. Apresentamos neste artigo alguns dos elementos centrais do conceito de monera de Haeckel e algumas questões relativas à sua noção de individualidade sob a luz dos seus estudos sobre moneras.

Palavras-chave. *Moneras, Ernst Haeckel, morfologia evolutiva, geração espontânea, individualidade orgânica.*

Abstract. Ernst Haeckel formulated and developed a proposal for the evolutionary morphology in which the concept of monera occupies a central place. The moneras are to him the simplest and most primitive organisms, from which it is possible to investigate the transition from inorganic to the organic, the initial basis for the whole evolution and development of living beings and the emergence of organic individuality. In this paper are presented some of the central elements of the Haeckel's concept of monera and some issues relating to his concept of organic individuality in the light of his studies of moneras.

Keywords. *Moneras, Ernst Haeckel, evolutionary morphology, spontaneous generation, organic individuality.*

Ernst Haeckel (1834-1919) foi um biólogo alemão cujo pensamento exerceu profunda influência no cenário científico e intelectual da segunda metade do século XIX e do início do século XX. Tal influência foi devida especialmente à sua original concepção morfológica e à sua profunda e incansável defesa do evolucionismo e do monismo. Haeckel buscou construir uma teoria biológica geral que conjugava, por um lado, o seu próprio desenvolvimento de uma série de noções da tradição morfológica, a qual tinha como algumas de suas expressões principais as formulações dos *Naturphilosophen* alemães e de Goethe, e, por outro lado, o evolucionismo e o darwinismo nascente. Um dos conceitos constitutivos da morfologia evolucionista de Haeckel é o conceito de *monera*. Dentro de seu grande projeto, a noção de monera ocupa um papel central, pois direciona e influencia a construção de suas teorias biológicas em aspectos e temas variados, tais como a geração espontânea, a individualidade biológica e a dinâmica da evolução geral dos organismos¹. Procuraremos

1 Na obra contemporânea de Bölsche, temos um relato biográfico sobre Haeckel e uma descrição geral de sua obra onde se expõe o conceito de monera haeckeliano e o lugar por ele ocu-

apresentar a seguir o sentido geral e alguns dos aspectos principais do conceito de monera de Haeckel, salientando, ao final, a questão da individualidade biológica².

pado em sua teoria (Bölsche, 1891, ver principalmente o capítulo sobre a Morfologia Geral, p. 172-251). Numa obra recente, Richards nos apresenta uma análise e interpretação da vida e da obra de Haeckel na qual o conceito de monera é discutido no quadro da sua proposta de uma morfologia evolucionista (Richards, 2008, ver a seção "Haeckel's Darwinism", especialmente p. 137-40).

2 Dentro da sua proposta de representação do sistema evolutivo dos seres vivos através de árvores genealógicas, Haeckel incluiu as moneras na base do reino neutro dos protistas, criado por ele ao lado dos reinos animal e vegetal. Nesse reino dos protistas, as moneras constituem a primeira de suas oito divisões (Haeckel, 1866, II, p. xxii e xxiii). Do ponto de vista dos organismos diretamente observados que integravam tal divisão, destacam-se as cromáceas (cianofíceas ou cianobactérias) e as bactérias (Haeckel, 1904, p. 192-201). É importante observar ainda, como procuraremos mostrar adiante nesse artigo, que o conceito de monera de Haeckel em sentido amplo transcende a noção de organismos individuais pré-celulares, isto é, não nucleados, e inclui a noção de ser vivo pré-individual, como seria o

Recebido 06nov11

Aceito 25nov11

Publicado 15dez12

As moneras são, segundo Haeckel, seres vivos cujo corpo se constitui de uma simples massa homogênea e não estruturada de protoplasma. Haeckel destacou na sua obra fundamental de 1866, a *Morfologia Geral*, e reafirmou em sua *Monografia das Moneras* de 1868, que ele aplica o termo monera aos seres vivos que exibem uma simplicidade morfológica extrema. Trata-se das formas orgânicas no seu mais baixo estado de organização, pois “todo o seu corpo, numa condição de desenvolvimento pleno e movimento livre, consiste de uma substância plenamente homogênea e sem estrutura, uma porção viva de albumina capaz de realizar a nutrição e a reprodução” (Haeckel, 1869 [1868], p. 28). Essa porção de albumina que se mantém em união constante tem uma forma externa irregular e mutável, mas globular quando em repouso; internamente não se detectam partes dissimilares. Haeckel explica que:

“Na realidade, todos os outros seres vivos, todos os animais e todos os vegetais e mesmo os protistas estão formados de elementos heterogêneos. Mesmo os mais simples destes, as formas unicelulares, consistem de duas partes distintas, o protoplasma e o núcleo celular. Apenas nas moneras está ausente esta complexidade [...] Todas as funções da existência, nutrição e reprodução, sensação e locomoção, se efetuam para essas moneras sem que as distintas partes tenham sido diferenciadas em virtude dos diferentes processos. Cada partícula do corpo de uma monera pode efetuar tudo o que efetua o conjunto do seu organismo.” (Haeckel, 1919 [1876], p. 26)

Na medida em que as moneras consistem meramente de massa protoplasmática, Haeckel crê que elas representam o estado mais elementar da vida. Haeckel desenvolveu na *Monografia das Moneras* diversas descrições dessas massas mucosas (*Schleimmasse*) de protoplasma segundo os estados que elas podem assumir (Haeckel, 1868, p. 93 e segs). Como mera massa de protoplasma, o caráter principal das moneras é de ordem fisiológica, já que apesar da ausência de estruturas, elas são capazes de nutrição e reprodução. A simplicidade das moneras permite diferenciá-las claramente das células (e, portanto, dos organismos unicelulares), já que essas últimas possuem corpos complexos dotados de estruturas definidas (núcleo, citoplasma e membrana). Segundo ele, a forma das moneras corresponde, de modo geral, à de células não nucleadas, que ele chamou de cítodos. Apesar de reunir as células (nucleadas) e os cítodos (não nucleados) sob a designação comum de plastídeos³, Haeckel enfatizará essa

caso do *Bathibius* referido adiante.

3 Vale observar que o termo “plastídeo” é aplicado por Haeckel para se referir a um conceito específico, que não mantém relação direta com o modo como tal termo é atualmente aplicado em biologia. Para Haeckel, plastídeos [plastiden] são as células e cítodos (células não nucleadas), isto é, as unidades morfológicas fundamentais ou, como ele se refere, organismos de primeira ordem (Haeckel, 1866, I, p. 49). Ele está assumindo em grande parte aqui a tese da teoria celular quanto à composição dos organismos complexos por células, mas incluindo nela algumas cláusulas, dentre as quais a de que essas unidades orgânicas fundamentais não são necessariamente nucleadas (Haeckel, 1904, p.

distinção fundamental de estrutura e as imensas consequências daí advindas.

As extensas pesquisas realizadas por Haeckel com as moneras e a sua noção de continuidade no processo do desenvolvimento orgânico reafirmaram a sua visão de que a base do fenômeno vital é a atividade fisiológica, independente da diferenciação estrutural. Nesses verdadeiros “organismos sem órgãos” (Haeckel, 1889 [1868], p. 426), colocava-se em evidência a propriedade fundamental do vivente, ou seja, a atividade ou dinamismo fisiológico (Haeckel, 1866, I, p. 135). Haeckel destacou a importância de compreender as características e propriedades da substância plasmática que constituía as moneras e de conceber esse plasma homogêneo das moneras como o gerador de toda a atividade orgânica. Para Haeckel, o plasma é a substância viva, a base material das manifestações vitais orgânicas. Ele observa que, considerando o protoplasma sob o ponto de vista químico, Max Schultze (1825-1874) pôde demonstrar a importância e generalidade do plasma, produzindo assim uma reforma na teoria celular. Assumindo o ponto de vista de Schultze, Haeckel explica que há uma confusão entre o conceito químico e o conceito morfológico de protoplasma:

“Essa confusão provém de não ter sido formulada com clareza a oposição entre as duas partes essenciais componentes da noção moderna de célula, o núcleo e o corpo celular. O núcleo interno pareceu ser um elemento sólido, formado e determinado morfológicamente. Ao contrário olhava-se a massa mole [...] como um elemento amorfo e somente definível quimicamente. Só mais tarde se reconheceu que a composição química do núcleo é muito próxima da do corpo da célula, e que se encarou o carioplasma do primeiro e o citoplasma do segundo como formas de uma substância única, o plasma. Todas as outras substâncias que se encontram num organismo vivo apenas são produtos e derivados desse plasma ativo.” (Haeckel, 1963 [1904], p. 128)

Por isso, para Haeckel, as partes da célula são órgãos especializados voltados a funções específicas da atividade orgânica e, portanto, estruturas derivadas do processo de evolução e originadas de um organismo mais elementar cujo corpo constitui-se unicamente de protoplasma homogêneo (Haeckel, 1963 [1904], p. 192). E a célula como a unidade formada por protoplasma e núcleo é um desenvolvimento posterior, fruto da divisão de trabalho em partes diferenciadas. Desse modo, segundo Haeckel, pode-se afirmar que o fenômeno vital está localizado em última instância no protoplasma e não na célula. Essa noção de plasma que ele assume tem consequências diretas em sua concepção evolutiva e em sua visão da geração espontânea. O plasma é definido por suas características físicas e químicas e por sua atividade, as quais são devidas aos modos especiais como se ligam nela elementos da matéria ordinária, principalmente devido às propriedades do carbono.

Por outro lado, esta massa indiferenciada de protoplasma (158-160).

plasma representaria a matéria “orgânica”, ou matéria viva elementar e inicial. Desse modo, por meio de sua extrema simplicidade e de suas capacidades, seria possível entrever nas moneras tanto a base dos fenômenos vitais em geral como o ponto de passagem evolutivo do inorgânico ao orgânico, isto é, a base ancestral de toda a evolução posterior dos seres vivos. Por isso, Haeckel afirmou que:

“Pela homogeneidade absoluta da substância albuminóide, pela falta completa de partes diferenciadas, aproximam-se mais as moneras dos seres inorgânicos do que dos organismos e formam evidentemente a transição entre o mundo orgânico e o inorgânico, o que se conforma com a hipótese da geração espontânea.” (Haeckel, 1930 [1879], p. 309)

Para Haeckel, a geração espontânea tem o valor de um postulado lógico da história natural científica que prescindia totalmente da “criação” como ato extraordinário ou extranatural. Ele buscou reafirmar a tese de uma linha de continuidade entre o inorgânico e o orgânico estudando a constituição e as propriedades dos seres vivos de maior simplicidade, buscando encontrar neles traços comuns e vias de ligação com a matéria inorgânica. Nessa direção, a extrema simplicidade das moneras foi concebida como um indicador desse caminho de transição. As características comuns verificadas levaram-no a afirmar que as moneras nasceram “diretamente da matéria inorgânica por autogonia” e que, portanto, elas são o ponto de partida da origem da vida (Haeckel, 1880 [1868], II, p. 41).

Há uma variação na noção de monera de Haeckel que podemos caracterizar até certo ponto como uma ambivalência de sentidos do termo, mas que marca, de fato, uma distinção conceitual relevante. Tal variação é verificada no tratamento alternado que Haeckel dispensa à noção de monera, referindo-a tanto como indivíduo orgânico original quanto como matéria orgânica original. A monera é ora tratada por Haeckel como o plastídeo original (o cótado) ora identificada como a simples massa protoplasmática primordial, *não individualizada*. Nos dois casos, a noção de monera se aplica a seres vivos fundamentais, mas, no primeiro caso, Haeckel identifica as moneras como as unidades orgânicas equivalentes aos cótados (células sem núcleo) e, portanto, sem diferenciação estrutural interna, cujo corpo é formado simplesmente por protoplasma. Já no segundo caso, ele concentra-se na própria “matéria vital” básica, o protoplasma, independente de qualquer individuação, ou seja, num estágio tão inicial do fenômeno vital que o ser vivo resume-se aí a uma simples massa contínua e homogênea, isto é, sem diferenciação estrutural de qualquer ordem. Nesse estágio primordial e pré-individual, a massa protoplasmática não *integra* qualquer indivíduo; a monera é simplesmente ser vivo. Podemos acompanhar os contornos dessa relevante distinção na discussão desenvolvida por Haeckel sobre o *Bathibius*, a monera fundamental descrita por Thomas Huxley (1825-1895).

Nas moneras até então estudadas, a substância ho-

mogênea e amorfa de protoplasma que forma os corpos em geral apresenta-se em modo individualizado, de maneira que as próprias porções singulares alcançam por crescimento certa dimensão e então, quando excedem tal dimensão, decompõem-se em duas ou mais partes. No *Bathibius*, ao contrário, não se observa este início de individualização; seu corpo protoplasmático mole e amorfo, que cobre em massas imensas as profundezas de mares, não apresenta nenhuma individualização; as porções singulares não parecem atingir nenhum tamanho determinado e parecem multiplicar-se segundo as circunstâncias; desagregam-se em partes quaisquer de dimensões desiguais quando o crescimento atingiu um limite em uma ou outra condição de adaptação.” (Haeckel, 1876, p. 27)

Assim, o ponto de partida de onde surge o indivíduo orgânico, ou o primeiro ser orgânico individuado, constitui-se de um determinado estágio da própria monera. A monera pode apresentar-se, segundo Haeckel, em duas etapas evolutivas, uma primordial como simples massa protoplasmática pré-individual, etapa que deve preceder lógica e cronologicamente à primeira individuação, e uma etapa posterior, evolutivamente derivada como plastídeos (os cótados, ou seja, células não nucleadas), considerados os indivíduos orgânicos em seu nível mais elementar. Em seu trabalho *Sobre Moneras e Outros Protistas*, de 1870, depois reimpresso no primeiro volume dos seus *Estudos Biológicos* (Haeckel, 1877), Haeckel apontou também tal distinção, destacando que as moneras consistiam de protoplasma livre e, além de afirmar que as enormes massas amorfas de *Bathibius* não apresentavam ainda individualização, indicou que a noção de gelatina ou muco primordial (*Urschleim*) de Lorenz Oken (1795-1851) e dos *Naturphilosophen* como a matéria viva primordial universal encontrava agora, com o resultado das investigações de Huxley, a sua confirmação empírica⁴. Podemos verificar ainda que Haeckel é claro quanto a esse ponto ao propor uma distinção evolutiva para o que ele chamou de grupo das substâncias plasmáticas. Isto é, segundo ele, há primeiro o *arquiplasma*, a substância viva mais antiga e original, e depois o *monoplasma*, a substância dos cótados. Cremos que é evidente que, no segundo caso, o uso do termo “*mono*” na expressão *monoplasma* procura indicar o advento da individualidade⁵.

Assim, para Haeckel, a estruturação morfogenética dos organismos, bem como a própria individuação biológica é concebida como fruto de uma atividade funcional que lhes é anterior e mais elementar. A individuação orgânica é concebida por ele como parte do processo de estruturação orgânica. O indivíduo orgânico não é prévio

4 A busca pela comprovação empírica do *Bathibius* ligou-se de modo direto às controvérsias e disputas sobre a existência das moneras e da geração espontânea (Radl, 1913, II, p. 213-5; Bizzo, 2001, p. 59-70). As negativas obtidas quanto à existência do *Bathibius* não abalaram, contudo, as convicções de Haeckel quanto à existência das moneras, quanto ao seu papel evolutivo e à autogonia (Haeckel, 1904, p. 339-45).

5 Dentro da nossa interpretação, o arquiplasma corresponderia, portanto, à monera primordial não individualizada representada pelo *Bathibius* e o monoplasma aos cótados.

nem simultâneo ao fenômeno vital, mas é derivado, sendo de fato engendrado naturalmente a partir do protoplasma homogêneo. Isso ocorre devido às capacidades e propriedades intrínsecas do protoplasma e à sua interação com o meio. Para Haeckel, a atividade funcional que se manifesta de modo heterogêneo num conjunto de funções vitais distintas encontra-se distribuída originalmente sobre uma base material homogênea.

O fenômeno da individuação biológica nos seus diferentes níveis apresenta-se, em primeiro lugar, como o problema de como conceber em bases naturais a noção de individuação num meio material carente de estruturas. Podemos dizer que Haeckel constrói sobre o fundamento de uma visão monista e de uma perspectiva teórica profundamente materialista uma formulação para a questão da individualidade biológica cuja chave encontra-se num tipo de atividade fisiológica que, embora inscrita na matéria orgânica, não está sujeita a qualquer configuração ou delimitação estrutural específica. A perspectiva que presidiu tal proposta foi a de abrir uma via aos estudos biológicos que prescindisse de qualquer recurso à noção de teleologia. Haeckel acreditava que, em conjunto com o evolucionismo e com os seus princípios biogênicos centrados no conceito de recapitulação da filogênese pela ontogênese, a noção de uma atividade vital distribuída por uma matéria elementar homogênea fornecia todos os ingredientes necessários para uma concepção de vida e de organismo cuja finalidade pudesse ser explicada em termos exclusivamente naturais. Segundo ele, a teoria das moneras e outras teorias integradas à morfologia evolucionista tinham o objetivo precípua e eram de fato capazes de explicar as características típicas da matéria orgânica e os fenômenos biológicos em bases puramente naturais. Nesse sentido, Haeckel buscou apontar um caminho para conceber a relação entre os estados de continuidade e de descontinuidade verificados nos organismos, nas suas dimensões fisiológicas e morfológicas. Seu tratamento nesse âmbito visava compreender a base a partir da qual se desenvolve a individuação biológica, tanto para conceber a própria natureza do indivíduo orgânico como para compreender a possibilidade do surgimento de um estado de estruturação a partir de uma massa originalmente informe, homogênea e contínua.

Referências

- Bizzo N. 2001. A origem da vida no darwinismo original do século XIX. In: El-Hani CN e Videira, AAP, organizadores. O que é vida? Rio de Janeiro: Relume Dumará 59-70.
- Bölsche W. 1903 [1891]. Haeckel, his life and his work. Philadelphia: George W. Jacob.
- Haeckel E. 1866. Generelle Morphologie der Organismen. Berlin: G. Reimer.
- Haeckel E. 1868. Monographie der Moneren. Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft 4: 64-144.
- Haeckel E. 1869 [1968]. Monograph of Monera. Quarterly Journal of Microscopical Science IX: 27-42, 113-134, 219-232 e 327-342.
- Haeckel E. 1889 [1868] Natürliche Schöpfungsgeschichte. Berlin: G. Reimer.
- Haeckel E. 1877. Biologische Studien: Studien zur

- Gastraeatheorie. Jena: Hermann Dufft.
- Haeckel E. 1880 [1868]. The History of Creation. New York: Appleton and Company.
- Haeckel E. 1930 [1879]. História da Creação Natural. Porto: Chardron.
- Haeckel E. 1876. Die Perigenesis der Plastidule oder Wellenzugung der Lebenstheilchen. Berlin: Georg Reimer.
- Haeckel E. 1919 [1876]. Perigenesis de las plastídulas. In: Haeckel E. El Origen de la Vida. Buenos Aires: Editorial Tor 7-80.
- Haeckel E. 1963 [1904]. Maravilhas da Vida. Porto: Lello & Irmão.
- Radl EM. 1988 [1913]. Historia de las teorías biológicas. 2 vol. Madrid: Alianza.
- Richards RJ. 2008. The tragic sense of life. Chicago: University of Chicago Press.

A Teoria das Hierarquias e seus fundamentos epistemológicos

Hierarchy Theory and its epistemological grounds

Nei Freitas Nunes-Neto*, Charbel Niño El-Hani

Departamento de Biologia Geral, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia

*Contato do autor: nunesneto@gmail.com

Resumo. A teoria das hierarquias emergiu, a partir de meados da década de 1960, como resultado de uma convergência de contribuições advindas de diversas disciplinas que compartilhavam à época um interesse pela complexidade, como economia, química e biologia. Da perspectiva da teoria das hierarquias, a complexidade não é considerada uma propriedade dos sistemas naturais em si mesmos e tampouco é concebida como uma propriedade exclusiva da mente humana, mas sim como uma propriedade das questões colocadas por nós, agentes do conhecimento, no processo de observação. A complexidade emerge, pois, na relação entre os sistemas naturais e os sujeitos cognoscentes. Este trabalho realiza uma análise dos fundamentos epistemológicos da teoria das hierarquias, tratando, sobretudo, da possibilidade de embasá-la numa visão anti-realista, como o empirismo construtivo de van Fraassen.

Palavras-chave. Hierarquias, complexidade, biologia, anti-realismo.

Abstract. Hierarchy theory arose in the middle of the 1960s, as a result of a convergence from contributions of different disciplines that shared an interest for complexity, such as economy, chemistry, and biology. From the perspective of hierarchy theory, complexity is not considered either as a property of natural systems in themselves or as an exclusive property of the human mind, but rather as a property of questions posed by ourselves, as agents of knowledge, in the observational process. Complexity emerges, thus, in the relationship between natural systems and knowing subjects. This work carries out an analysis of the epistemological foundations of hierarchy theory, mainly addressing the possibility of grounding it in an anti-realist stance, such as van Fraassen's constructive empiricism.

Keywords. Hierarchy, complexity, biology, anti-realism.

Recebido 25abr11
Aceito 10out11
Publicado 15dez12

Introdução

É um clichê entre biólogos dizer que sistemas biológicos são intrinsecamente hierárquicos e complexos. Apesar de tais afirmações serem muito repetidas, em variados contextos, raramente as expressões que nelas figuram são tomadas como objeto de uma análise mais profunda. Então cabe perguntar: o que significa complexidade nas ciências em geral, e na biologia, em particular? O que significa dizer que um sistema é hierárquico?

Este trabalho objetiva oferecer uma possível resposta a estas questões. Para isso, o caminho do argumento será o seguinte: na próxima seção, apresentaremos brevemente algumas noções gerais acerca da teoria das hierarquias, mais especificamente, por meio do modo como ela interpreta o desenvolvimento de uma pesquisa científica. Em seguida, exploraremos as bases filosóficas desta teoria, apontando principalmente para sua natureza anti-realista.

Por ora, a fim de guiar o leitor, daremos breves definições de alguns termos aqui utilizados, mesmo sendo discutidos em mais detalhes nas seções seguintes. Para

entender o que significa o anti-realismo, vale a pena esclarecer o que significa, em termos muito simples e breves, o realismo científico. O realismo científico é a posição segundo a qual (i) a ciência objetiva construir um relato verdadeiro do mundo e (ii) as entidades inobserváveis (aquelas que não podemos observar diretamente com nossos sentidos, como DNA, elétron etc.) são reais.

Em contraponto às duas teses acima, a posição anti-realista assume (i) que, como uma atividade de construção de modelos, e não de descoberta do mundo, a ciência deve oferecer não modelos verdadeiros, mas sim modelos empiricamente adequados (isto é, que capturem de modo apropriado aspectos da realidade observável, esta a que temos acesso direto com nossos sentidos, sem intermediação de aparelhos como microscópios, por exemplo) e (ii) que as entidades inobserváveis não necessariamente existem, ainda que haja termos na linguagem científica que se refiram a elas.

Neste artigo, argumentamos que a teoria das hierarquias tem uma natureza anti-realista, que pode ser apoiada no empirismo construtivo de Bas van Fraassen,

um importante filósofo empirista contemporâneo. Ainda que nosso foco principal no presente artigo recaia sobre as bases filosóficas da teoria das hierarquias, comentaremos, sempre que possível, algo acerca das implicações deste olhar epistemológico para a prática ou o ensino da biologia.

Natureza e contexto do pensamento hierárquico

A teoria das hierarquias nasceu como uma área de investigações (e não exatamente como uma disciplina com fronteiras muito bem definidas), no início dos anos 1960, a partir dos trabalhos de vários pesquisadores e pensadores de destaque, como o químico Ilya Prigogine, o economista Herbert Simon (1969) e o epistemólogo e biólogo Jean Piaget. Além disso, as ideias expostas na Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy (1976), desenvolvida desde a década de 1920, inspiraram fortemente aqueles autores.

Em poucas palavras (porque iremos tratar do assunto em mais detalhes abaixo), a posição filosófica assumida pela teoria das hierarquias é intermediária entre o solipsismo e o realismo. Por um lado, esta teoria assume que há uma realidade externa independente da mente humana (negando, portanto, o solipsismo). Porém, por outro lado, para ela, esta realidade não é passível de ser conhecida diretamente e em si mesma, como resultado de um acesso privilegiado ao mundo pelos sentidos, mas apenas por meio da própria mente humana.

Entre os teóricos de hierarquias mais influentes da contemporaneidade, encontramos alguns biólogos. Entre estes, merece destaque T. F. H. Allen, um ecólogo que ampliou sua atuação nas últimas décadas para uma reflexão sobre a atividade científica. Ele é atualmente um dos principais articuladores da teoria das hierarquias e de suas aplicações na ciência da ecologia (ver, por exemplo, Allen e Hoekstra, 1992). Tendo isto em vista, nós utilizaremos, como um modelo para apresentar idéias centrais da teoria das hierarquias, um trabalho produzido por ele, em colaboração com Valerie Ahl.

Para Ahl e Allen (1996, p. 11), a teoria das hierarquias é “a filha de uma fertilização cruzada de disciplinas tradicionais” interessadas na complexidade, como filosofia, psicologia, biologia, termodinâmica e economia. Sobretudo a partir da década de 1960, a criação de tal zona de intersecção entre disciplinas acadêmicas bem estabelecidas, em termos institucionais e metodológicos, permitiu uma fértil troca de idéias e métodos. Tal intercâmbio tem sido um belo exemplo de tentativa de superação das barreiras entre o que C. P. Snow, em 1959, chamou de “As duas culturas” (as humanidades e as ciências naturais). Trata-se de uma busca pela construção de um conhecimento interdisciplinar, o que constitui uma demanda necessária para fazer frente a muitos dos desafios da sociedade contemporânea (como as questões ambientais, por exemplo).

É muito comum uma idéia intuitiva sobre o pensamento hierárquico, a de que ele diz respeito a uma teoria focada principalmente em níveis de organização da realidade (como, por exemplo, os níveis assumidos tradicio-

nalmente no ensino de biologia: celular, histológico, orgânico etc.) Porém, como Ahl e Allen apontam, a teoria das hierarquias não está focada prioritariamente sobre níveis de organização. Em vez disso, ela é “uma teoria do papel do observador e do processo de observação no discurso científico. É uma teoria sobre a natureza de questões complexas” (Ahl e Allen, 1996, p. 27).

Analisemos aqui, brevemente, esta citação de Ahl e Allen, a fim de entender melhor em que consiste a teoria das hierarquias. Um termo chave nesta citação é “complexo”. Ele se refere às questões que nós, sujeitos construtores de conhecimento, colocamos sobre o mundo à nossa volta. Assim, se a complexidade é algo que se atribui às questões, e não aos objetos do mundo diretamente, então podemos pensar que há vários graus possíveis de complexidade que podem estar relacionados a um mesmo objeto, os quais dependerão, é claro, dos interesses, dos valores e do conhecimento prévio do observador. Assim, em última instância, a complexidade do objeto dependerá do tipo de questão que se coloca sobre ele. Tomemos um exemplo de Ahl & Allen (1996) para ilustrar este ponto. Uma cadeira pode ser observada de um ponto de vista simples ou complexo. Uma questão simples sobre uma cadeira seria: qual o limite de carga que uma dada cadeira pode suportar sem se quebrar? Uma questão complexa seria: onde e de que maneira, em detalhes, a cadeira se quebrará? O objeto cadeira, em si mesmo, não muda a partir das questões que colocamos sobre ele. Contudo, ele pode ser *visto como* simples ou complexo, a depender das questões que colocamos.

O tratamento da complexidade como uma propriedade das questões científicas (e não como uma propriedade dos sistemas estudados pelas ciências naturais) nos parece uma tese importante, por estar associada ao anti-realismo da teoria das hierarquias, um argumento que desenvolveremos mais abaixo.

Apesar de nossa concordância com esta concepção sobre a complexidade, discordamos de outro ponto defendido por Ahl e Allen, embora menor. Pensamos que, ao se referir a *um observador individual*, estes autores assumem uma postura excessivamente subjetivista. Parece-nos equivocado falar num sujeito epistêmico único – o que pode conduzir à idéia ingênua, mas frequente no ensino de ciências e na própria imagem social da ciência, de que a ciência é feita por poucos gênios isolados, ou ao menos, de que ela é feita individual, e não coletivamente (ver Gil-Pérez et al., 2001). Ao invés disso, nos parece mais adequado conceber o “observador” como uma comunidade, um grupo integrado de indivíduos que compartilha certos valores cognitivos, epistêmicos, procedimentais, à maneira como pensava, por exemplo, o filósofo Thomas Kuhn (1962), ao tratar do processo de construção de um paradigma.

Isto conduz, necessariamente, a uma ligeira reformulação do argumento colocado por Ahl e Allen. Tomemos o exemplo do filósofo russo Lev Vigotski (1984). Para ele, as funções mentais superiores e, por extensão, o conhecimento individual sobre certo objeto é adquirido a partir de uma internalização de algo que num primeiro momento é compartilhado socialmente. Ou seja, não faz

sentido falar na interação de um sujeito único com determinados objetos, como se isto fosse suficiente para a construção do conhecimento. Faz mais sentido falar numa comunidade epistêmica, uma comunidade de observadores capazes de construir conhecimento, sempre em interação com o mundo natural.

A investigação científica de acordo com a teoria das hierarquias

Ahl e Allen realizam uma análise do processo de investigação científica de acordo com a teoria das hierarquias, o que ilustra alguns princípios e pressupostos desta. De acordo com os autores, a investigação científica pode ser vista como uma sequência de cinco passos: colocação de uma questão; definição de entidades ou unidades; escolha de medidas; observação de fenômenos; avaliação de modelos.

É importante notar que esta sequência não é uma série rígida de passos, como vemos na descrição algorítmica de um método científico supostamente único e capaz de conduzir à verdade, algo bastante comum em livros didáticos das áreas de ciências naturais, seja no ensino médio, seja no ensino superior (Gil-Pérez e col., 2001). Não se trata da proposição de uma ordem temporal *necessária* da pesquisa, mas de uma reconstrução da *lógica possível* do processo investigativo, a qual pode ser realizada com as idas e vindas próprias de um processo criativo como o trabalho científico. Frequentemente, a criatividade científica redefine as fronteiras entre esses passos ou até mesmo procede de um modo não-linear. De qualquer modo, tal heterogeneidade nos procedimentos científicos não impede que construamos um esquema conceitual abstrato, que possa servir como um marco de referência para a análise de investigações científicas particulares.

Da perspectiva da teoria das hierarquias, certo problema de pesquisa (por exemplo, como ocorreu a coevolução entre a planta *Angraecum sesquipedale* e a mariposa *Xantophan morganii praedicta*?) constitui um ponto de partida para a investigação científica. Os problemas de pesquisa, é importante notar, são construções teóricas da ciência, porque são gerados a partir de análises que os cientistas fazem do corpo de conhecimentos científicos. Há dados em jogo nesta análise, obviamente, mas os dados só fazem sentido à luz do conhecimento teórico construído pela ciência. Ou seja, ao dizer que a ciência tem início com um problema de pesquisa (como colocou Karl Popper e muitos outros filósofos depois dele), estamos dizendo automaticamente que ela não se inicia meramente com a observação dos fenômenos. Este ponto é importante, na medida em que oferece um contraponto necessário a uma idéia ingênua, ainda muito forte na concepção de ciência de muitos cientistas, professores e estudantes de ciências, de que a atividade científica se inicia com a observação de fenômenos.

A ambiguidade de significado proporcionada pela observação da imagem do pato-coelho (Fig. 1) é um recurso didático para mostrar que não vemos absolutamente nada de uma perspectiva não-cognitiva, e tampouco de

uma perspectiva não-teórica. Se alguém a quem é mostrada esta imagem diz “eu vejo um pato” ou “eu vejo um coelho”, as próprias noções de “pato” e “coelho” e de tudo o que eles podem significar são pressupostas em tais proposições de observação.

Imagine a seguinte situação: duas pessoas diferentes, digamos, João e Maria, dizem respectivamente, quando mostramos a imagem, “eu estou vendo um pato” e “eu estou vendo um coelho”. Apesar de “verem” objetos diferentes (supondo que João e Maria não apresentam qualquer patologia relacionada à visão ou ao processamento de imagens no cérebro), a imagem nas retinas de João e Maria é essencialmente a mesma, correspondendo a certa disposição de traços e manchas escuras num fundo branco. As imagens em si mesmas não são dotadas de significado. Ou seja, se eles possuem a mesma imagem na retina, mas dizem que vêem coisas diferentes, há algo *além da imagem na retina* que é responsável pelo ato de ver. Portanto, o ato de ver, em nós, pressupõe a cognição; e de maneira inescapável. É ela, com seus conceitos, modelos, expectativas, experiências pretéritas, que orienta tudo o que é e pode ser “visto” (ver, por exemplo, Hanson, 1965).

Desse modo, notamos que a colocação de uma questão ou problema de pesquisa, derivada de uma análise do conhecimento estabelecido (que é teórico, por natureza), é o ponto de partida para qualquer investigação científica. Em termos mais concretos, podemos situar materialmente a colocação de questões na cognição humana, dependente, por sua vez, do contexto sociocultural. É ela que permite ver e ver é perceber algo a partir de uma perspectiva cognitiva e socialmente orientada.

Analisemos agora o próximo passo da investigação científica, de acordo com Ahl e Allen. Qualquer questão ou problema de pesquisa, como apontam estes autores, pressupõe certas entidades, uma vez que nos problemas de pesquisa necessariamente aparecem termos que se referem a tais entidades. No caso do problema de pesquisa apresentado acima, podemos reconhecer pelo menos a referência a duas entidades: a planta *Angraecum sesquipedale* e a mariposa *Xantophan morganii praedicta*. A questão contempla ainda um processo não observável, a coevolução, ainda que possa ser observada a interação ecológica efetiva entre certo inseto e certa planta.

Na descrição da atividade científica de acordo com a teoria das hierarquias, Ahl e Allen (1996) dividem as en-

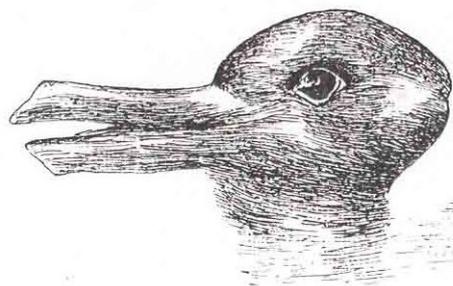


Figura 1. O pato-coelho. Ver é perceber algo a partir de uma perspectiva cognitiva e socialmente orientada. Fonte: Jastrow (1899)

tidades cujos termos figuram nas questões científicas em dois tipos, tangíveis e intangíveis. Grosso modo, tangível é aquilo que pode ser acessado diretamente pelos sentidos humanos (pode ser visto, tocado, etc., como dito acima, de maneira mediada pela cognição). Por sua vez, intangível é aquilo que não pode ser acessado diretamente pelos sentidos, mas apenas através de aparatos tecnológicos (como o microscópio eletrônico). Apesar de estes autores se limitarem a entidades (normalmente entendidas como objetos), pensamos que vale a pena considerar e, assim, aplicar a distinção também a processos, o que representa uma ampliação do alcance do argumento daqueles autores. Assim, no caso da questão acima, podemos qualificar a planta *Angraecum sesquipedale* e a mariposa *Xantophan morgani praedicta* como entidades tangíveis, enquanto o processo de coevolução pode ser qualificado como intangível. Outros exemplos de entidades ou processos tangíveis podem ser uma mosca ou a predação de uma anta por uma onça pintada. Exemplos de entidades ou processos intangíveis podem ser o elétron, a seleção natural ou o nicho ecológico.

Esta distinção entre tangíveis e intangíveis é, de fato, essencialmente uma mesma que é feita classicamente na filosofia da ciência, ainda que com outra terminologia (Dutra, 2009; van Fraassen, 1980). Neste âmbito, filósofos têm distinguido entre entidades observáveis e inobserváveis e boa parte das discussões filosóficas sobre o realismo científico têm se dado sobre a possibilidade ou a legitimidade de tal distinção. Não discutiremos esta questão a fundo aqui; desejamos apenas apontar a similaridade da distinção em pauta nas duas áreas¹.

Outra distinção feita por esses autores, bastante útil para o modo como podemos estruturar a prática científica no que tange à definição das entidades e dos processos, é a separação entre imagem e fundo (*figure vs. background*). Imagem é toda parte do campo observacional que é tratada como significativa, dotada de significado, enquanto fundo é todo o resto. Tanto imagem quanto fundo - nos dizem Ahl e Allen - são o produto de pressuposições, questões, valores, conhecimentos, expectativas de um observador. Ter clareza sobre o que é imagem e o que é fundo em uma investigação científica, algo que se pode fazer ao propor o próprio problema de pesquisa, permite organizar e pré-definir uma série de passos metodológicos da pesquisa (relacionados com medições, por exemplo), assim como evitar a adoção por parte do cientista de posições epistemológicas ingênuas ou equivocadas, como comentaremos mais abaixo.

Ahl e Allen propõem uma analogia bastante ilustrativa para esclarecer a distinção entre imagem e fundo.

1 Ahl e Allen se perguntam se a investigação muda em função de lidar com tangíveis ou intangíveis. De acordo com estes autores, a resposta é um enfático não. Para eles, tanto tangíveis quanto intangíveis são obtidos pelo mesmo processo fundamental: em nenhum caso, eles são dados pelo mundo, mas são produzidos por operações de distinção que são dependentes da cognição. Entretanto, Ahl e Allen não tomam em consideração o debate filosófico sobre o realismo científico, algo que consideramos em alguma medida neste artigo, e que constitui um dos focos de nossa pesquisa sobre a teoria das hierarquias.

Imagine uma rede de pesca, com uma malha de tamanho x (Fig. 2). A malha captura peixes de certo tamanho, digamos, z , mas não captura os peixes de tamanho muito menor que z , porque estes passam por entre a malha, escapando, ou peixes de tamanho muito maior que z , porque estes são grandes o bastante para que não fiquem retidos na rede. Os peixes de tamanho z são, portanto, idealmente, a imagem, enquanto os outros, muito pequenos ou muito grandes, são parte do fundo não significativo, dada a rede em questão.

É evidente que imagem e fundo são conceitos relativos aos estados do sistema cognitivo individual e do desenvolvimento do conhecimento científico numa dada época. Por exemplo, se aceitarmos a analogia da rede como um instrumento da cognição, então uma rede com malha mais estreita tomaria como imagem os peixes de tamanho muito menor que z , enquanto todo o resto seria

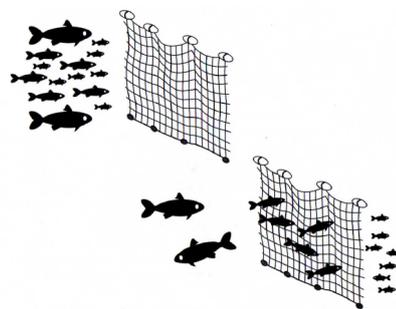


Figura 2. Uma rede de pesca, com sua malha característica, como uma metáfora do sistema cognitivo coletando informações. A imagem é o que a rede captura, enquanto o fundo é todo o resto (Imagem retirada de Ahl e Allen, 1996, p. 56).

tratado como fundo, uma situação diferente da anterior.

Estas considerações sobre imagem e fundo, como parte da teoria das hierarquias, nos permitem comentar sobre um erro comum, que é derivado de assumir que os termos usados na linguagem científica se referem sempre a entidades reais. Trata-se dos debates sobre a realidade de uma dada entidade intangível. Na ecologia, por exemplo, por vezes os ecólogos discutem se as comunidades ecológicas são reais ou não. Contudo, este questionamento não faz sentido, já que entidades não são o produto *apenas* do mundo em si mesmo, mas são construídas por uma comunidade epistêmica (os ecólogos) em interações com o mundo dos fenômenos. Cabe apontar ainda que tal visão, fortemente realista, quando usada no ensino de ciências, tende a reificar² entidades abstratas.

Sintomaticamente, mesmo não sendo assumida sua correspondência a algo no mundo, uma entidade, como construto de uma comunidade científica, pode cumprir um papel útil na pesquisa. Por exemplo, quando o con-

2 Em termos simples, reificar algo significa transformar este algo em substância. Em outros termos, é o mesmo que atribuir uma natureza material a certas entidades ou noções que não são materiais, mas sim abstratas. Para o filósofo francês Gaston Bachelard (1996), a reificação, denominada por ele “substancialismo”, foi um obstáculo epistemológico importante para o avanço do conhecimento científico na idade moderna.

ceito de gene foi introduzido por Johannsen, em 1909, ele próprio e a maioria dos geneticistas o concebiam como um termo útil sem correspondente material claramente estabelecido, a ser usado como uma unidade de cálculo (Johannsen, 1909. Ver Falk, 1986, Wanscher, 1975). Isso não tornou, certamente, o conceito de gene menos útil, como atesta o rápido progresso da genética clássica nos anos que se seguiram à sua proposição.

Em suma, ao considerar as entidades e os processos como o produto das decisões de uma comunidade científica, em interação com o mundo natural, é bloqueada desde o início uma possível linha não produtiva de discussão, focada em saber se a entidade ou o processo é real ou não. Conforme argumentaremos mais à frente, este argumento pode ser construído dentro da teoria das hierarquias, desde que estabeleçamos devidamente seus fundamentos anti-realistas, o que começaremos a fazer na próxima seção.

Uma vez que as entidades e os processos de interesse estejam definidos, o próximo desafio se relaciona ao modo de operação ou às atividades que eles exibem (que daqui em diante chamaremos simplesmente de “comportamentos”). O comportamento é capturado a partir da mensuração das mudanças nos estados da entidade ao longo do tempo. Determinar quais entidades e comportamentos são observados depende, assim, da escala dos protocolos de medida escolhidos. Uma vez que estas decisões sejam feitas, o comportamento do sistema começa a fazer sentido.

Uma vez que uma demarcação de entidades e/ou processos e um regime de mensuração estejam fixados, o fenômeno observado, em vez dos próprios observadores, é responsável pelas mudanças de estado. O protocolo de medidas deve capturar a frequência (isto é, a taxa de ocorrência) dos comportamentos. Normalmente, comportamentos de baixa frequência estão em níveis de organização mais elevados, enquanto comportamentos de alta frequência estão em níveis menos elevados. De certa forma, quanto a este ponto, a teoria das hierarquias formaliza uma idéia intuitiva: de que coisas pequenas são mais rápidas e duram menos, enquanto coisas maiores são mais lentas e duram mais. A formalização da intuição ocorre pela compreensão de que níveis hierárquicos num modelo podem ser ordenados de acordo com as frequências de comportamento das entidades que os constituem. Neste sentido, totalidades têm frequências de comportamento maiores e é por isso que incluem as partes, as quais exibem frequências de comportamento menores. Pensemos, por exemplo, num filhote de elefante e em suas células epiteliais. Num período de um ano, supondo que os comportamentos de uma célula reunidos num ciclo celular completo se estendam por 1 dia, teremos cerca de 365 ciclos celulares. Por sua vez, o elefante, que é a totalidade, neste mesmo período de tempo de um ano, teve relativamente muito menos alterações em seus comportamentos (por exemplo, sendo um filhote e não tendo atingido a idade reprodutiva, ele não se reproduziu), se comparado às suas células. Isso ocorre por que os comportamentos têm ritmos distintos, a depender do nível de organização considerado. A teoria das hierarquias coloca grande ênfase sobre este ponto, ao

sustentar que a própria relação todo-parte decorre destas diferenças de frequência de comportamento.

Uma vez que o comportamento do sistema tenha sido registrado por um protocolo de medidas, apenas algumas mudanças de estado serão consideradas interessantes. Assim, no protocolo de medidas, os comportamentos que se visa mensurar são a imagem, enquanto o resto é tomado como fundo, de acordo com a distinção imagem/fundo discutida acima.

À escolha das medidas, segue-se a observação dos fenômenos, o quarto passo da descrição da atividade científica feita por Ahl e Allen. Neste ponto, eles exploram uma metáfora para explicar o processo de observação na ciência. Imagine uma teia de aranha. Nesta analogia, a aranha é como uma comunidade de cientistas e a teia é como uma rede teórica. A captura de um besouro comestível, por exemplo, como algo novo na rede, é análoga a um cientista fazendo uma observação. O conserto de uma teia rompida por um inseto comestível, ou por gotas de chuva, é análogo ao trabalho da ciência normal kuhniiana. Neste caso, a estrutura da rede sofreu um abalo que, normalmente, pode ser consertado apelando-se aos métodos convencionais.

Entretanto, o que acontece se um passarinho ou um objeto de tamanho similar colide com a teia? Uma alteração profunda acontece, o que corresponde à destruição de toda uma teoria ou à crise de um paradigma. Proceder com um mero reparo na teia pode ser insuficiente para dar conta de tais prejuízos, razão pela qual a aranha pode buscar construir uma nova teia. Da mesma forma, se certa teoria ou certo paradigma não mais atende às necessidades dos cientistas, por conta do acúmulo considerável de anomalias não resolvidas, se faz necessário o uso de outro construto teórico, alternativo. Grosso modo, isso corresponde à mudança paradigmática para Kuhn (1962).

No exemplo acima, há um tipo de seleção no processo, de filtragem do que deve ser fenômeno significativo para o modelo. Ou seja, nem tudo o que cai na teia é bom para a aranha. Do mesmo modo, nem tudo o que pode ser observado é bom para um determinado cientista, imbuído da tentativa de dar conta de um problema de pesquisa específico. Este pode ser, inclusive, o momento de revisar as entidades e os processos demarcados e, quiçá, a própria questão colocada.

Situar a observação neste ponto, e não em um momento anterior da investigação científica, é bastante salutar, em vista da renitência de uma visão empirista ingênua no ensino de ciências. De acordo com tal visão, há *um único método científico, que sempre se inicia com a observação*. Ainda que não em forma tão ingênua, um empirismo exagerado também marca, com frequência, a formação dos próprios cientistas, que, muitas vezes, consideram que o sucesso ou fracasso das teorias e hipóteses depende somente de seu confronto com os dados empíricos. A observação é importante e, sem ela, não há ciência; porém, ela só é possível de um ponto de vista teoricamente situado. Os dados resultantes da observação são importantes, porém eles não são o propósito da ciência, nem decidem por si só o destino das teorias. Dito de outro modo, dados

empíricos são condição necessária, mas não suficiente, para a aceitação e rejeição de teorias. Eles são razões que movem os cientistas quanto aos seus juízos sobre teorias, mas são somente parte das razões invocadas num processo argumentativo, situado na arena social da comunidade científica e enovelado com processos externos à ciência (vinculados ao financiamento, a ideologias etc.), do qual depende, em parte, o sucesso ou o fracasso das teorias (porque, afinal, a natureza sócio-histórica da mudança teórica implica também fatores irracionais). Por isso mesmo, há algo mais a tratar como parte da atividade científica, que está para além da observação dos fenômenos, ou coleta de dados. Em parte, isso foi o que mostramos aqui.

Finalmente, os modelos científicos, construídos por meio de procedimentos como os descritos por Ahl e Allen, são avaliados em função de sua adequação empírica e de sua capacidade de representação, explicação e previsão de fenômenos. No que concerne à construção e à avaliação de modelos, parece-nos que a perspectiva epistemológica da teoria das hierarquias é bastante próxima de um ponto de vista anti-realista, como aquele do empirismo construtivo de van Fraassen, conforme discutiremos a seguir.

O debate entre realistas e anti-realistas em filosofia da ciência

Aqui, consideraremos os fundamentos filosóficos da teoria das hierarquias, mais especificamente, suas bases anti-realistas. Para isso, será necessário abordar, ainda que minimamente, o debate entre realistas e anti-realistas na filosofia da ciência, que já mencionamos brevemente acima.

O realismo científico tem sido uma posição forte entre filósofos da ciência e cientistas naturais. Uma reação importante à hegemonia do realismo, talvez a mais importante da filosofia contemporânea, foi a de Bas van Fraassen. Em seu livro de 1980, *A Imagem Científica*, podemos dizer que van Fraassen constrói seu argumento em duas partes principais. Uma primeira parte é destinada a atacar fortemente o realismo científico e uma segunda, a apresentar uma visão alternativa a ele.

Do ponto de vista de van Fraassen, para os realistas, a “ciência visa dar-nos em suas teorias um relato literalmente verdadeiro de como o mundo é, e a aceitação de uma teoria científica envolve a crença de que ela é verdadeira.” (van Fraassen, 1980, p. 27).

A posição de van Fraassen, construída contra o realismo, é denominada por ele empirismo construtivo. É um empirismo porque, para ele, os juízos (isto é, as crenças) dos cientistas que importam para a aceitação de uma teoria científica devem ser apenas juízos sobre entidades e processos observáveis (que são equivalentes aos tangíveis, na terminologia da teoria das hierarquias). Isto é, os cientistas não devem assumir compromissos metafísicos acerca da existência ou inexistência de entidades e processos inobserváveis (ou intangíveis, na terminologia da teoria das hierarquias) ao fazer juízos epistêmicos, ou seja, aqueles que estão subjacentes à aceitação das teorias. Note-se que os cientistas podem, por outro lado, assumir tais com-

promissos – acrescentamos – no que diz respeito a outros juízos, por exemplo, juízos pragmáticos relativos às vias mais poderosas para o desenvolvimento de uma teoria.

Assim como falamos de dois tipos de juízos que os cientistas podem ter: epistêmicos e pragmáticos, podemos falar também em dois tipos de virtudes: epistêmicas e pragmáticas. As virtudes são qualidades das teorias. As virtudes epistêmicas, em particular, dizem respeito àquelas qualidades presentes nas teorias que são razões pelas quais os cientistas as aceitam. Exemplos são a adequação empírica (que explicaremos mais à frente) ou a crença de que os termos que se referem a entidades ou processos inobserváveis (como DNA, elétron etc.) se referem a entidades ou processos reais. Por sua vez, para van Fraassen, as virtudes pragmáticas não estão presentes no domínio da própria construção das teorias, nem da sua aceitação, mas sim no domínio da aplicação da teoria ao mundo. Normalmente, elas ganham saliência nas atividades de explicação e previsão da ciência. Estas consistem na aplicação de modelos a casos particulares, os quais, por isso mesmo, só podem ser compreendidos em contextos específicos.

Para van Fraassen, os realistas vão longe demais ao usar, como razão para aceitar as teorias científicas, a tese de que as entidades e os processos inobserváveis postulados na linguagem científica são reais. Tais supostas entidades ou processos, para ele, não necessariamente existem, ou, ao menos, a questão da sua existência ou não é destituída de importância no que cabe aos juízos epistêmicos subjacentes à aceitação de uma teoria. Isso implica que sua posição é mais parcimoniosa, mais econômica do que a posição realista.

Uma analogia com a crença em Deus pode ajudar neste ponto. A posição de van Fraassen é similar à de um agnóstico, que não afirma nem nega a existência de Deus, como fazem respectivamente os teístas ou ateus, mas, em vez disso, suspende seu juízo sobre a existência de tal entidade. Da mesma forma, para van Fraassen, é irrelevante qualquer juízo sobre inobserváveis no que se refere à aceitação de teorias, devendo-se ser agnóstico quanto aos inobserváveis ao julgar tal aceitação. Todos os juízos que importam para a aceitação das teorias devem ser voltados para as entidades observáveis apenas.

Por sua vez, a qualificação “construtivo”, usada para designar a posição deste filósofo, se deve ao fato de que, para ele, a ciência é uma atividade de *construção* de modelos, e não uma atividade de descoberta. Esta idéia, similar à de Thomas Kuhn (1962), significa que os modelos não são o resultado de processos de descoberta sobre o mundo, nem almejam a verdade. Do ponto de vista de van Fraassen, os modelos são construções humanas que visam interpretar, explicar, prever fenômenos, devendo apenas ser *empiricamente adequados*, uma exigência menor do que a dos realistas. Assim, diz-se que uma teoria é *empiricamente adequada* quando ela possui ao menos um modelo com sub-estruturas empíricas isomorfas (i.e., em correspondência direta) com o conjunto de *todas* as aparências (fenômenos observáveis). Esse isomorfismo que ao menos um dos modelos deve possibilitar é o que permite, segundo van Fraassen, que a teoria dê conta dos fenômenos (por

definição, aquelas entidades ou processos observáveis). Em outras palavras, é necessário que o modelo represente adequadamente estes fenômenos, constituindo uma imagem científica do mundo (daí o título do livro de van Fraassen, "A Imagem Científica"). Isso significa que todos os juízos que importam para a aceitação das teorias devem ser voltados para as entidades observáveis apenas. De outro lado, juízos sobre entidades inobserváveis não são necessários, do ponto de vista de van Fraassen, para determinar a aceitação ou não de uma teoria científica, por certo grupo de cientistas.

Vale lembrar que tais juízos podem ter outros papéis, pragmáticos, no trabalho científico, como ilustramos acima, com os juízos sobre as vias mais poderosas para o desenvolvimento de uma teoria. Pode ter sido mais poderoso, por exemplo, desenvolver a genética em suas primeiras décadas sem assumir uma hipótese sobre a existência dos genes como entidades materiais. Contudo, em período posterior da história da genética, foi mais poderoso assumir a existência material do gene, o que pavimentou, por exemplo, o caminho para a construção do modelo da dupla hélice (El-Hani, 2007). Estes não são, no entanto, juízos epistêmicos, que são aqueles pertinentes, para van Fraassen, à aceitação de uma teoria. Trata-se de juízos de outra ordem, conforme distinção que fizemos acima.

A posição de van Fraassen no cenário filosófico atual pode ser melhor compreendida se adotarmos como referência uma análise empreendida por Ian Hacking (1983), para o qual há dois debates separados sobre o realismo científico, que frequentemente aparecem misturados nas discussões filosóficas. O primeiro é um debate sobre o papel que a noção de verdade tem na avaliação das teorias científicas, ou seja, na determinação de juízos sobre sua aceitação (denominados acima 'juízos epistêmicos'). O segundo debate está relacionado ao estatuto ontológico (isto é, existencial) das entidades inobserváveis postuladas na linguagem científica, como, por exemplo, elétron, gene ou DNA. Van Fraassen se qualifica como um anti-realista nos dois campos, ou seja, é um anti-realista de entidades (os inobserváveis não necessariamente existem, devendo-se ser agnóstico a seu respeito) e de teorias (as teorias científicas não visam à verdade, mas apenas à adequação empírica).

Os fundamentos anti-realistas da teoria das hierarquias

A partir daqui, então, começaremos a discutir com mais nuances a proximidade entre a teoria das hierarquias, tal como formulada por Ahl e Allen, e a filosofia de van Fraassen. A teoria das hierarquias pretende assumir uma posição anti-realista, intermediária entre o solipsismo e o realismo. Nas palavras de Ahl e Allen, a teoria das hierarquias "não afirma o solipsismo, uma filosofia que declara que tudo é uma questão de construção humana. Para o solipsismo, não há mundo lá fora, porque tudo é uma construção humana" (Ahl e Allen, 1996, p. 74). Aqui, os autores desejam afastar-se do solipsismo, a idéia de que o mundo físico é uma criação da mente apenas, ou seja, de

que não há uma realidade externa independente de nós.

Em outra passagem, os autores explicitam um pouco mais os fundamentos de suas posições: "Nossa posição é que há provavelmente um mundo onde há existência, mas as coisas não existem como coisas lá fora. Nós nunca temos acesso ao mundo, mas aprendemos a partir de uma interação com ele" (Ahl e Allen, 1996, p. 74).

Esta é a posição intermediária entre o solipsismo e o realismo a que já nos referimos na Introdução.

É possível mostrar que a teoria das hierarquias, situada assim entre o solipsismo e o realismo, pode receber um fundamento adequado na perspectiva anti-realista de van Fraassen. Essa empreitada permite formular em termos epistemológicos mais consistentes a teoria proposta por Ahl, Allen e outros.

Quanto às entidades e aos processos postulados pela ciência, podemos assumir, da perspectiva da teoria das hierarquias, que os inobserváveis (ou, em seus termos, intangíveis) não necessariamente existem (ou, ao menos, que sua existência ou inexistência é sem importância para os juízos epistêmicos), seguindo a posição de van Fraassen. Ou seja, o juízo sobre a existência das entidades e dos processos intangíveis postulados pelos modelos científicos seria irrelevante para a aceitação ou a rejeição desses modelos, bem como da teoria que os inclui. Este ponto não é suficientemente elaborado pelos autores que têm trabalhado com o pensamento hierárquico. Trata-se, então, de dar passos adiante na epistemologia associada ao pensamento hierárquico, buscando embasar suas teses no anti-realismo de entidades, que é parte do empirismo construtivo de van Fraassen.

Quanto à verdade, a teoria das hierarquias aceita sem problemas que a ciência não objetiva a verdade, nem a descoberta de um mundo para além dos fenômenos, mas é uma atividade de construção de modelos, que são avaliados por suas virtudes pragmáticas (ou seja, por suas consequências práticas, aplicadas), como poder preditivo e explicativo, e também por suas virtudes epistêmicas, como a adequação empírica. Isso significa que a teoria das hierarquias também pode receber um fundamento no anti-realismo de teorias, compartilhado por filósofos como Hacking e van Fraassen³.

Considerações finais

À guisa de conclusão, podemos dizer que a construção de um fundamento anti-realista para a teoria das hierarquias somente será realizada satisfatoriamente como parte de um programa de pesquisa filosófico e, portanto, demanda muito amadurecimento. Estamos, portanto, dando apenas um passo neste sentido no presente artigo.

De nosso ponto de vista, o trabalho filosófico no que concerne à teoria das hierarquias deve ter um duplo objetivo, em particular no que tange à biologia. De um lado, é necessário analisar e explicitar os fundamentos epistemológicos da teoria das hierarquias (como seu viés anti-

3 Não se deve, contudo, perder de vista que Hacking é um realista de entidades, em contraste com van Fraassen. Ver Hacking (1983).

-realista). De outro lado, é importante derivar implicações possíveis – ou analisar aquelas já existentes – da teoria para o ensino e a prática da biologia. Aqui, demos apenas um primeiro passo no sentido de clarificar os fundamentos filosóficos desta teoria.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESB, à CAPES e ao CNPq por financiamentos que proporcionaram a realização deste estudo, e a Dália Conrado e a Leopoldo Marchelli, pelas sugestões para melhoria do texto.

Referências

- Ahl V e Allen T. 1996. Hierarchy theory: a vision, vocabulary, and epistemology. New York: Columbia University Press.
- Allen T e Hoekstra T. 1992. Toward a unified Ecology. New York: Columbia University Press.
- Bachelard G. 1996. *A formação do espírito científico: contribuição para uma Psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Dutra LH. 2009. Introdução à teoria da ciência. Florianópolis: Editora da UFSC.
- El-Hani CN. 2007. Between the cross and the sword: the crisis of the gene concept. *Genetics and Molecular Biology* 30(2): 297-307.
- Falk R. 1986. What is a gene? *Studies in the History and Philosophy of Science* 17: 133-173.
- Gil-Pérez D, Montoro IF, Alís JC, Cachapuz A e Praia J. 2001. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação* 7 (2): 125-153.
- Hacking I. 1983. Representing and intervening. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hanson NR. 1965. Patterns of discovery. London: Cambridge University Press.
- Jastrow J. 1899. The mind's eye. *Popular Science Monthly* 54: 299-312.
- Johannsen W. 1909. *Elemente der Exakten Erblchkeitslehre*. Jena: Gustav Fisher.
- Kolb B e Wishaw IQ. 2002. *Fundamentals of human Neuropsychology*. New York: Worth Publishers.
- Kuhn T. 1962. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva.
- Shrader-Frechette K e McCoy ED. 1994. Applied ecology and the logic of case studies. *Philosophy of Science*, 61: 228-249.
- Simon H. 1969. *The sciences of the artificial*. Cambridge: MIT Press.
- Snow CP. 1993. *The two cultures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Fraassen B. 1980. *The scientific image*. Oxford: Clarendon Press.
- Von Bertalanffy L. 1976. *Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimentos e aplicações*. Petrópolis: Vozes.
- Vygotsky LS. 1984. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- Wanscher JHK. 1975. The history of Wilhelm Johannsen's genetical terms and concepts from the period 1903 to 1926. *Centaurus* 19 (2): 125-147.

É legítimo explicar em termos teleológicos na biologia?

Is it legitimate to explain in teleological terms in biology?

Ricardo Santos do Carmo¹, Nei Freitas Nunes-Neto², Charbel Niño El-Hani³

Departamento de Biologia Geral, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia

Contato dos autores: ¹rscarmo@ufba.br, ²nunesneto@gmail.com, ³charbel.elhani@pq.cnpq.br

Resumo. Neste artigo, defendemos a legitimidade de explicar em termos teleológicos na biologia, desde que tal explicação seja limitada à compreensão de fenômenos em seres vivos que são dirigidos para objetivos, como os processos fisiológicos e o comportamento. É inadequado explicar teleologicamente outros fenômenos biológicos, como a evolução. Dentro do domínio de validade das explicações teleológicas, as explicações funcionais têm particular importância na biologia. Discutimos aqui duas abordagens que podem ser seguidas para dar conta das explicações funcionais, a etiológica e a sistêmica, que explicamos aqui a partir dos trabalhos de dois influentes filósofos da ciência, Wright e Cummins. Discutimos, por fim, a importância de um uso apropriado das explicações teleológicas no ensino de biologia, seja superior, seja médio.

Palavras-chave. *Teleologia, função, ensino de biologia.*

Abstract. In this paper, we advocate the legitimacy of explaining in teleological terms in biology, provided that this explanation is limited to the understanding of phenomena in living beings that are directed towards goals, such as physiological processes and behaviors. It is inadequate to explain teleologically other biological phenomena, such as evolution. Within the domain of validity of teleological explanations, functional explanations have particular importance in biology. We discuss here two approaches that can be followed to account for functional explanations, the etiological and the systemic, which we explain here based on the works of two influential philosophers of science, Wright and Cummins. We finally discuss the importance of an appropriate use of teleological explanations in biological education, both in higher education and in high school.

Keywords. *Teleology, function, biology teaching.*

Recebido 17abr11
Aceito 25jul11
Publicado 15dez12

Em um artigo publicado em *Scientiae Studia*, periódico das áreas de história e filosofia das ciências, Marcelo Alves Ferreira (2003) fez um comentário interessante acerca do modo pelo qual as pessoas em geral, incluindo os biólogos, explicam os fenômenos do mundo vivo. No entendimento desse autor, isso se dá da seguinte maneira: “Diante do modo de reprodução de uma espécie, das proporções de uma estrutura ou do padrão de uma migração, ninguém honestamente se pergunta: ‘Como as mutações nos genes dessa característica vieram a se estabelecer por seleção?’ A pergunta efetiva seria ‘Em que esta característica serve à sobrevivência, qual sua função?’” (Ferreira, 2003, p. 190). Essas palavras expõem de modo claro um ponto muito importante que tem sido seriamente discutido por biólogos e filósofos da biologia, a saber: a elaboração de explicações teleológicas para compreensão dos fenômenos da vida.

Esse modo de explicação e o termo que o nomeia são anteriores ao próprio nascimento do termo biologia, na década de 1760, por Michael Hanov (cf. McLaughlin, 2002) e das instituições que caracterizam a biologia enquanto ciência, no século XIX. O termo “teleologia”, em latim, foi introduzido pelo filósofo alemão Christian Wolff

em 1728, para se referir à parte da filosofia natural que explicaria os fins das coisas (*finis rerum explicat*), em contraste com a filosofia natural que estudaria as causas das coisas (Owens, 1968; Lennox, 1992).

O uso das explicações teleológicas tem sido investigado nos campos da psicologia cognitiva e psicologia da educação, nos quais identificamos a defesa da tese de que a teleologia é um modo inato (Atran, 1995), básico (Kelemen, 1999) ou autônomo (Keil, 1992, 1994, 1995) do pensamento biológico de crianças e adultos.

A definição do que seja uma explicação teleológica varia em diferentes estudos. Contudo, no domínio das ciências biológicas, entendemos que uma explicação teleológica é caracterizada pela referência às noções de “propósito”, “função”, “objetivo”, e, de modo geral, pode ser reconhecida por expressões como “papel de”, “contribui para”, além de outras semanticamente equivalentes. Trata-se, assim, de um modo de explicação que se caracteriza pelo conceito de finalidade, possivelmente um dos mais fortes e mais bem estabelecidos no pensamento humano (Warren, 1916). Dessa perspectiva, a referência primária para o estudo desse conceito nas ciências biológicas é Aristóteles, embora ele remonte às ideias de Sócrates, conforme apre-

sentadas no *Fédon* de Platão (Lennox, 1992), e também no *Timeu* (Platão, 1977). Todavia, precisamos logo chamar a atenção — porque isto costuma dificultar sobremaneira o entendimento claro do modo teleológico de explicação científica na biologia — o conceito de finalidade aparece de maneira distinta nos textos de Aristóteles e Platão.

Em Platão, as explicações em termos de propósito e função, por exemplo, aludem à existência de um agente racional, que, agindo deliberadamente, é visto como a causa do bom estado das coisas no mundo natural. Na filosofia de Aristóteles, em contraste, o conceito de finalidade é fundamental no estudo do funcionamento dos animais, nada tendo a ver com um agente sobrenatural com poder causal (o Demiurgo de Platão), como podemos ver no livro I de *As Partes dos Animais* (Aristóteles, 1999). No capítulo 1 dessa obra, Aristóteles argumenta — contra Empédocles — que a concomitância causal de causas materiais (que dizem respeito ao tipo particular de substância de que algo é feito) e causas eficientes (que explicam o movimento das coisas) não é suficiente para explicar por que um ente natural (um leão, por exemplo) vem a ser de tal e tal tipo, i.e., com uma dada anatomia e forma. Para o Estagirita, prepondera sobre estas causas a função, quer dizer, as capacidades vitais do leão. É a realização dessas capacidades relativas ao completo funcionamento do leão a principal causa de sua existência, i.e., sua causa final. Em outras palavras, podemos dizer que Aristóteles mobiliza o conceito de finalidade, ao lado do conceito de função, para explicar que os atributos encontrados nos animais contribuem para um fim e, por isso mesmo, existem, como está expresso em sua conhecida máxima: “A Natureza não faz nada em vão” (Aristóteles, 1984, 704b12-18). E, na medida em que a finalidade é interna à coisa, quer dizer, ao vivente, a filosofia de Aristóteles não assume o pressuposto da teleologia natural de que o universo é o produto de um design inteligente (Lennox, 1992), o que seria um “finalismo antiquado”, de acordo com Lucas Angioni (1999, p. 94), um dos principais estudiosos brasileiros da obra do filósofo grego. Em síntese, dizemos que a teleologia de Aristóteles é “imane” ou “interna” (Goudge, 1961, p. 193), em contraposição à “teleologia externa” de Platão.

Essa percepção mais precisa sobre as relações entre os conceitos de finalidade e função na filosofia de Aristóteles é fundamental para que tenhamos clareza a respeito das questões epistemológicas que cercam a legitimidade das explicações teleológicas na biologia. A esse respeito, um ponto muito importante foi a substituição, durante a Revolução Científica do século XVII, do modelo aristotélico — fortemente marcado pela teleologia — por um modelo mecânico do mundo. Esta nova concepção de mundo incluía tanto uma rejeição a um possível vitalismo, i.e., um conjunto de ideias de que os organismos vivos diferem das coisas inanimadas por possuírem um fluido ou “espírito” vital — que não comparecia na tradição aristotélica, mas a ela foi incorporada na escolástica medieval —, como também uma negação de uma linguagem própria para a explicação dos fenômenos da vida. Como resultado da aceitação do modelo mecânico, qualquer explicação de um fenômeno natural só seria legítima se recorresse a

causas mecânicas (ou seja, à causa eficiente aristotélica) e o fizesse através da menção a uma lei geral.

A despeito dessa mudança do quadro teórico e epistemológico, a linguagem usada na compreensão dos processos e sistemas vivos sempre recorreu a noções teleológicas, como função e objetivo. O ponto fulcral que precisa ser destacado, porém, é que estes usos — pré-darwinistas — de termos teleológicos estavam fortemente comprometidos com pressupostos de natureza teológica ou vitalista, que, como dissemos, foram inseridos na tradição aristotélica e terminaram por ser postos de lado na metafísica da ciência moderna. É nesse contexto, que alcança o século XIX, que enfatizamos a contribuição substancial do trabalho de Darwin para os fundamentos das ciências biológicas, na medida em que construiu as bases para apelar a expressões teleológicas desde um ponto de vista que não se compromete com pressupostos teológicos ou vitalistas.

No entanto, mesmo a contribuição de Darwin não foi suficiente para desfazer um dilema dos biólogos com relação à teleologia. De um lado, ainda se teme a associação de um discurso teleológico na biologia com uma metafísica inaceitável, enquanto, de outro, percebe-se que muito se perderia em termos explicativos e heurísticos se a teleologia fosse posta de lado nessa ciência. Não é surpreendente, portanto, que muitos cientistas (Weisz, 1971; Gregory, 2009), educadores (Schwab, 1963; Hughes, 1973; Jungwirth, 1975; Gallant, 1981), filósofos e historiadores da ciência (Cummins, 2002; Ghiselin, 2005) considerem que a biologia contemporânea não deve ter qualquer compromisso com a teleologia.

Contudo, ainda que posições contrárias ocupem espaço na literatura principal sobre o assunto, queremos aqui enfatizar nosso entendimento de que a questão central das discussões recentes no que concerne às explicações teleológicas não é se a biologia deve ou não fazer uso delas, mas quais são seus usos apropriados e inapropriados. Neste artigo, discutiremos sob esse ponto de vista, e de modo sucinto, dois projetos explanatórios que buscam dar conta do modo teleológico de explicação nas ciências biológicas: as abordagens (1) etiológica e (2) sistêmica.

Abordagem Etiológica

Na filosofia da biologia, a importância dessa abordagem é reconhecida por colocar a teleologia e, em particular, o conceito de função, no centro dos debates acerca da explicação científica. No período anterior a esse projeto teórico, nas décadas de 1950 e 1960, marcado pela hegemonia do empirismo lógico, a visão canônica (*received view*) quanto a esse assunto sustentava que uma explicação deveria ser considerada científica se fosse compatível com um modo de explicação baseado em leis gerais, o qual foi formalizado no chamado modelo dedutivo-nomológico (D-N) de explicação (Salmon, 1990). Em linhas gerais, a partir da aceitação do modelo D-N, uma explicação científica precisaria fazer referência a, ao menos, uma lei geral e conter afirmações empíricas sobre fatos particulares, i.e., condições prévias relativas ao fenômeno a ser explicado. Nessa análise formal, então, a sentença que conta como

uma explicação do fenômeno em pauta segue, como consequência lógica, das afirmações anteriores, quais sejam, as leis e as afirmações particulares (para detalhes, ver Hempel e Oppenheim, 1948).

Dessa perspectiva, as explicações em termos teleológicos foram questionadas quanto à sua legitimidade científica, porque não satisfazem a todos os requisitos de um modelo de explicação baseado em leis. Por exemplo, na biologia, de modo importante, as explicações possuem generalidade, mas não são universais (e, de fato, os biólogos não pretendem que o sejam). A crítica mais fundamental, contudo, foi a de que, nas explicações teleológicas, a sentença que conta como uma explicação não segue das sentenças que fazem referência a uma ou mais leis gerais, mas, ao contrário, estas últimas sentenças seguem da sentença explicativa.

Contudo, na medida em que o modelo D-N perdeu espaço na comunidade de filósofos da ciência, após ter recebido muitas críticas, principalmente através de fortes exemplos contrários (para uma revisão crítica, ver Salmon, 1990, 1992), o debate sobre as explicações teleológicas voltou à cena. Ao mesmo tempo em que as limitações do modelo D-N foram sendo expostas, uma virada importante no debate acerca dos enunciados teleológicos na biologia e em outros campos do conhecimento teve lugar a partir do artigo “Functions”, do filósofo Larry Wright (1973). Em particular, Wright argumentou que as atribuições funcionais são um tipo de explicação legítima, no sentido de que enunciar a função de um traço biológico — i.e., uma estrutura, um comportamento, um processo fisiológico —, com referência à sua história seletiva é o mesmo que explicar por que o traço existe. E, por esta via, a explicação é forte na medida em que distingue efeitos funcionais de efeitos meramente acidentais, i.e., os efeitos periféricos, que, porque não foram *selecionados para*, não explicam por que o organismo considerado possui aquele traço. Desse modo, apenas os efeitos funcionais podem explicar a presença de certos traços. Esta é precisamente a tese seminal da abordagem etiológica, conforme originalmente proposta por Wright, e, depois, modificada por diferentes autores em teorias relacionadas, como a teoria da “função própria” de Millikan (1984, 1989), Neander (1991a, 1991b, 1995) e Griffiths (1992, 1993), e a teoria da história moderna de Godfrey-Smith (1993, 1994).

Em uma definição direta, no contexto atual dessa abordagem, uma função biológica é o efeito positivamente selecionado no passado por causa de sua contribuição para aumentar as chances de sobrevivência e reprodução de seu possuidor em um ambiente específico. Trata-se, assim, de uma definição que sustenta a tese de que a causa para a existência de um traço funcional é o mecanismo de seleção natural. Nesse sentido, os biólogos não atribuem função a traços “não-funcionais”, mas sim àqueles que são “úteis e construtivos”, como comenta Godfrey-Smith (1994, p. 347) acerca do problema da origem dos traços.

Embora Wright não tenha dirigido a abordagem etiológica às questões da biologia em particular, é inegável seu vínculo com esta ciência através da ênfase conferida à seleção natural para a demarcação de uma função (Wri-

ght, 1973, p. 163). Essa ênfase é justificada pelo interesse de Wright em uma definição de função livre de qualquer referência à noção de utilidade, porque — pelo menos na biologia — um traço pode ter uma utilidade, mas que não conta como uma função, no sentido de que lhe falta uma etiologia. Esse é um ponto importante que temos de compreender para conhecermos os limites da visão de Wright, como também das abordagens etiológicas de outros autores.

A ênfase de Wright sobre o mecanismo de seleção natural coloca limites importantes a seu projeto explanatório. Um limite importante é a dificuldade prática de determinar qual o primeiro efeito selecionado de um traço, já que, como Amundson e Lauder (1994, p. 461) pontuaram, os ambientes e as pressões seletivas mudam ao longo do tempo geológico. É difícil também precisar o alvo da seleção natural, i.e., dizer que a seleção atuou apenas em determinado traço (Lauder e col., 1993; Amundson e Lauder, 1994). Este é, de fato, um problema sério e bem documentado na literatura em, pelo menos, dois casos: primeiro naqueles em que a seleção de um traço pelo efeito que conta como sua função biológica é acompanhada por mudanças em outros traços, porque são correlacionados. Por exemplo, em uma população de lagartos, a seleção de genes para o aumento da capacidade de corrida pode ter sido acompanhada de seleção de genes para uma maior capacidade cardiorrespiratória e aumento do tamanho corporal (Amundson e Lauder, 1994). Outro caso que corrobora essa dificuldade de isolar o efeito selecionado é a existência dos traços complexos, aqueles formados pela articulação interna de componentes. Em síntese, o ponto importante neste caso é que o efeito E de um traço complexo T é o resultado da ação articulada de cada um de seus componentes $t_1 - t_n$. Contudo, isto não significa que a seleção de T , entre variações existentes para esse traço complexo, tenha acontecido devido a variações em todos os seus componentes. É possível que o componente t_1 de T tenha permanecido inalterado ao longo do tempo e, dessa maneira, T difere de seus variantes, T' e T'' , digamos, em relação a outros componentes t_i , mas não a t_1 . Por esta razão, note que, em casos assim, T é alvo da seleção natural, enquanto t_1 não, porque, como sabemos, seleção requer variação dentro de um mesmo ambiente seletivo (Brandon, 1990). Portanto, um biólogo informado pela abordagem etiológica não atribui qualquer função a t_1 , embora a função desse componente seja necessária para o efeito E do traço complexo T (ver Buller, 1998, para uma análise crítica a este respeito).

Dois limites adicionais da abordagem etiológica dizem respeito ao fato de que um traço pode realizar mais de uma função — que podemos chamar de problema da *multifuncionalidade* do traço —, e às diferentes maneiras como um traço pode realizar um dado efeito que conta como uma função, ou como traços diferentes, mas equivalentes, podem realizar o mesmo efeito — conhecido na literatura como problema dos *equivalentes funcionais*¹.

1 Para muitos autores, este constitui a principal dificuldade para a aceitação de explicações funcionais na biologia. Ernest Nagel e Carl Hempel, dois dos mais destacados filósofos da ci-

Estes dois problemas adicionais foram percebidos com as discussões em torno da concepção etiológica introduzida por Wright em meados da década de 1970, mas são um desafio para qualquer projeto filosófico para lidar com as explicações funcionais na biologia.

O fato de que um traço pode realizar funções diferentes se mostra um problema para o projeto etiológico na medida do seu compromisso com a definição de um predicado normativo para o conceito de função. Trata-se, nesse sentido, da tese de que a função de um traço biológico é o que ele foi selecionado para fazer, conforme propuseram, independentemente, Ruth Millikan (1984, 1989) e Karen Neander (1991b) sob a rubrica da teoria etiológica da “função própria” (*proper function*). Essa teoria acomoda, de modo geral, a tese primária da abordagem etiológica, i.e., de que atribuir função a um traço biológico é explicar por que esse traço existe. Mas, se um traço é multifuncional, i.e., tem uma função Y e uma função Z, como decidir qual delas *deve ser a* “função própria”? Dito de outro modo, por causa de qual efeito, no passado, o traço foi positivamente selecionado? Em nenhuma teoria filiada à abordagem etiológica encontramos uma resposta conclusiva para essa questão, que expõe uma situação frequente nas ciências biológicas. Numa linha teórica, define-se a função própria desde o passado remoto do traço (Millikan, 1989, 1993; Griffiths, 1993); em outra, por referência ao passado recente (Boorse, 1976; Neander, 1991a; Godfrey-Smith, 1994). Por uma questão de espaço, contudo, não iremos aprofundar esse ponto aqui.

De outro modo, queremos destacar também que um desafio para o conceito de função desde uma perspectiva etiológica é o fato comum na biologia de que uma função pode ser realizada de diferentes maneiras por um traço, ou por traços diferentes, mas equivalentes. No primeiro caso, tome como exemplo o fato da fisiologia humana de que o fígado regula a concentração de glicose no sangue por duas vias, quais sejam, a inibição ou o aumento dos processos de gliconeogênese e glicogenólise. Outro exemplo de equivalência funcional na biologia, concernente à segunda possibilidade, é que a função de transportar oxigênio no sangue dos animais é realizada por vários pigmentos respiratórios (hemocianina, hemeritrina, clorocruorina, hemoglobina). Não avançaremos aqui no debate sobre este ponto; para isso, recomendamos a leitura de outro trabalho nosso (Carmo, Nunes-Neto e El-Hani 2012).

Para concluir esta seção, destacamos o principal limite do projeto etiológico de explicação, devido ao seu forte compromisso com o mecanismo de seleção natural:

ência do período do empiricismo lógico, propuseram soluções, mas, entendemos, soluções com limites importantes, mormente em razão do compromisso deles de que as explicações científicas devem ser de caráter universal, conforme o modelo D-N, tendo em vista os casos estudados na física. De nossa parte, também enfrentamos o problema dos equivalentes funcionais e argumentamos que os equivalentes funcionais não minam a cientificidade das explicações biológicas, porquanto não é necessário que as explicações em biologia sejam universais para que contem como científicas, importam que elas possuam generalidade. Para uma discussão detalhada, recomendamos fortemente a leitura de Carmo, Nunes-Neto e El-Hani (2012).

o embaraço entre os conceitos de função e adaptação biológica. Na medida em que esse é um mecanismo comum aos dois conceitos, não está claro quão distintos eles são (Sober, 1993). Este é um problema teórico que pretendemos esclarecer com a tese de doutorado de um dos autores (R. S. do Carmo) deste artigo.

Abordagem Sistêmica

Na literatura filosófica, o artigo “Functional Analysis”, de Robert Cummins (1975), introduz uma teoria que primariamente diz respeito à atribuição de funções a partes de sistemas complexos. Esse projeto explanatório busca explicar como sistemas complexos funcionam pelo estudo das *disposições* ou *capacidades* das partes ou itens de tais sistemas, prescindindo de considerações históricas. Em razão disso, há autores que o percebem como “contrário” (Davies, 2001; Cummins, 1975, 1983, 2002), ou mesmo “rival” (Šustar, 2007) ao projeto etiológico. De nossa parte, tendemos a evitar essa oposição, porque há argumentos para pensarmos que ambas concorrem para definir usos apropriados do conceito de função em dois domínios não-concorrentes da biologia, quais sejam, a biologia funcional e a biologia evolutiva (Mayr, 2005; Jacob, 1983 [1970]). Contudo, a validade da abordagem etiológica no domínio da biologia evolutiva é relativamente limitada, por seus compromissos selecionistas, bem como porque o uso explicativo do conceito de função na biologia evolutiva se restringe aos casos em que estamos lidando com novidades evolutivas (Nunes-Neto e El-Hani, 2009; Nunes-Neto e El-Hani, 2011). Nos demais casos, não é a função que tem poder explicativo, em si mesma, mas diferenças de performance funcional de características ou comportamentos distintos dos organismos, que cumprem a mesma função.

Dito isso, vejamos, de modo sucinto, a abordagem sistêmica do conceito de função nas ciências biológicas. Em primeiro lugar, devemos notar o argumento central proposto por Cummins (1975, 1983): as explicações funcionais podem ser formuladas independentemente de considerações evolutivas. Nas próprias palavras dele, “uma capacidade complexa de um organismo [...] pode ser explicada mediante apelo a uma análise funcional, independentemente de como essa capacidade se relaciona à capacidade do organismo de manter a espécie” (Cummins, 1975, p. 756). A centralidade deste argumento é tal que Cummins (2002, p. 167) o reitera nos seguintes termos: “a análise funcional é anterior a, e independente de, avaliações de adaptatividade”, i.e., “se algo tem ou não uma função, e qual aquela função acontece de ser, é inteiramente independente de se ela foi selecionada e aumentou de frequência” (Cummins, 2002, p. 166). Em segundo lugar, acrescente-se que na base deste argumento está a ideia de que a abordagem etiológica se revela limitada, por sua insistência em considerar a função como algo que explica a presença de um item num dado organismo. De fato, Cummins (1975, p. 747) se declara avesso ao modo etiológico de explicação — ao qual ele negativamente atribui o rótulo “teleológico”, numa compreensão limitada,

em nosso entendimento, do significado do termo (Nunes-Neto e El-Hani, 2009, p. 121; Carmo, 2010) —, entendendo-o como “um ato de desespero nascido do pensamento de que não há outro uso explicativo para a caracterização funcional na ciência”. É teleológica, para Cummins (2002, p. 162), a tese de que algo existe por causa do efeito que conta como sua função, i.e., a abordagem etiológica. Em contraste, Cummins defende o caráter não-teleológico da abordagem sistêmica das explicações funcionais. Consoante a isso é a sua proposta de que a teleologia deve ser eliminada da biologia ou de sua filosofia. Nós discordamos dessa ideia de que a perspectiva de Cummins seja não-teleológica, como brevemente explicaremos mais adiante.

Um ponto importante é que Cummins aborda o assunto de uma perspectiva diferente das abordagens etiológicas, a saber: em termos de disposições e capacidades complexas, enquadrando sua teoria numa perspectiva sistêmica do mundo. Por exemplo, para Cummins (1975), se um objeto x funciona como uma bomba em um sistema s , ou se a função de x em s é bombear, então, dizemos, ele deve ter a disposição de bombear em s . Desse modo, na visão de Cummins, atribuir uma função a algo é, ao menos em parte, atribuir uma disposição a esse algo. Exemplos de disposições são: dissolver, dilatar, elevar, bombear etc., as quais, para se realizarem dependem de condições antecedentes que as precipitem.

Essas disposições, desde a perspectiva sistêmica de Cummins, podem ser explicadas através de duas estratégias diferentes, mas complementares. Não entraremos em detalhes acerca desse assunto aqui, devido à sua complexidade, porém, em poucas palavras, podemos dizer o seguinte: as disposições do mundo físico e químico são geralmente explicadas a partir de uma explicação que recorre a leis naturais (constituindo a estratégia da instanciação ou subsunção), enquanto que as disposições do mundo biológico, em geral, podem ser explicadas a partir da estratégia de análise funcional².

A estratégia da subsunção consiste em submeter um caso particular, no qual um objeto manifesta certa disposição, a uma regularidade sobre aquela mesma disposição. Por exemplo, podemos explicar desta forma a disposição de uma barra de ferro de dilatar-se mediante o aumento de temperatura. Nesse caso, a explicação se dá através da aplicação de uma regularidade da física, relativa à dilatação (digamos, a lei da dilatação linear dos corpos), associada a informações sobre o objeto particular em questão, como seu coeficiente de dilatação linear, a variação de temperatura a que o objeto foi submetido, a variação de seu comprimento, etc. Dito de outro modo, a regularidade de cobre (ou compreende) o caso particular em questão e, em associação com as condições iniciais particulares, explica a manifestação da disposição no objeto. Trata-se, em suma, do modo de explicação formalizado no modelo D-N, discutido acima.

Segundo Cummins, na estratégia analítica, que é o

foco de nosso interesse aqui, procedemos a uma análise da disposição do objeto em uma série de disposições que a compõem. Desse modo, certa disposição é explicada a partir de sua análise (ou decomposição) em disposições que a compõem. As funções atribuídas aos componentes dos sistemas são exatamente as suas disposições, que contribuem para a realização de uma capacidade ou disposição do sistema como um todo. Por exemplo, bombear sangue é função do coração porque essa é a disposição que o coração exibe e que contribui para a realização de uma disposição do organismo como um todo — circular nutrientes e gases pelo corpo —, disposição esta tomada aqui como objetivo a ser explicado pela análise funcional (Cummins, 1975).

A proposta de Cummins pode ser mais bem compreendida se for colocada em contraste com a abordagem etiológica de função. Em primeiro lugar, devemos notar, conforme aponta Cummins (2002, p. 158), que “enquanto a teleologia busca responder à questão por-que-ele-existe [*why-is-it-there*] respondendo à questão anterior por-que-ele-serve [*what-is-it-for*], a análise funcional não se dirige de modo algum à questão por-que-ele-existe, mas à questão como-ele-funciona [*how-does-it-work*]”. Em segundo lugar, diferentemente do que ocorre na abordagem de Wright (como, de resto, em todos os proponentes de teorias etiológicas), na qual os alvos da atribuição funcional e da explicação funcional são os mesmos — ou seja, atribuir função a algo é explicá-lo funcionalmente —, na perspectiva analítica de Cummins, explicação e atribuição funcional não coincidem, porque não se dirigem aos mesmos alvos. Enquanto atribuímos função a um *componente do sistema*, o *alvo da explicação* é uma *capacidade deste sistema continente* (Cummins, 2002). Isso nos leva a perceber a mudança de foco que Cummins propõe em sua análise funcional, com relação às abordagens etiológicas de função. Para ele, o fenômeno que merece ser explicado não é a existência ou presença de certo item (como Wright propõe), mas sim uma capacidade (que desejamos compreender) de um sistema complexo. Em suma, função é algo a que nós apelamos para explicar a capacidade de um sistema continente, não para explicar por que algum item existe em tal sistema.

Pode-se argumentar que, embora distinta da abordagem etiológica, que busca explicar por que algum traço está presente num dado organismo, a análise funcional preserva, ainda assim, um caráter teleológico. Isso pode ser denunciado por formulações como a de que explicamos funcionalmente quando identificamos qual contribuição uma parte de um sistema faz *para* uma capacidade de um sistema continente. Desse modo, podemos ver a análise funcional como uma sistematização da “teleologia intra-orgânica” a que aludia o importante fisiólogo francês do século XIX Claude Bernard (Caponi, 2003). Temos, portanto, uma perspectiva sob a qual podemos qualificar a abordagem de Cummins como teleológica, ainda que ele negue tal compromisso de sua teoria.

Assim, para encerrar esse ponto, é importante notar que as duas abordagens sobre função aqui analisadas (a etiológica e a sistêmica) são, do nosso ponto de vista,

2 Para mais detalhes, sugerimos consultar o original (Cummins, 1975) ou trabalhos que explicam e mostram aplicações da abordagem original de Cummins (Nunes-Neto e El-Hani, 2009; Nunes-Neto e El-Hani, 2011).

teleológicas, ainda que se apoiem em sentidos diferentes do termo teleologia. Essas duas teleologias são, inclusive, representativas da linguagem usada em cada uma das duas áreas da biologia. Para mais detalhes acerca desse ponto, recomendamos a leitura de Caponi (2003). Porém, ao dizer que elas são teleológicas, não estamos afirmando que elas introjetam crenças antimaterialistas ou sobrenaturais no âmbito da biologia. Para nós, como já dissemos, tais abordagens teleológicas de função são perfeitamente coerentes com o naturalismo da ciência e da biologia atual, isto é, não postulam inversão de causalidade, forças vitais ou interferência de entidades sobrenaturais sobre o mundo empírico, por exemplo. Essa crítica, como destaca Mayr, seria válida para vitalistas como Henri Bergson e Hans Driesch, hoje “não se aplica a qualquer darwinista que usa a linguagem teleológica” (1992, p. 122).

Considerações finais

Finalizando este artigo, queremos enfatizar que os educadores em ciência têm recusado as formulações teleológicas na biologia porque elas podem dificultar o entendimento pelos estudantes das relações de causa e efeito no mundo natural e, além disso, podem representar um modo de atribuir consciência a seres não-humanos, se tomadas literalmente (Bartov, 1981, p. 79). Em vista dessa preocupação, encontramos diferentes autores na defesa de que a linguagem funcional não goza de legitimidade científica, tendo simplesmente valor metafórico (Lewens, 2004) e heurístico (Schaffner, 1993). De outro modo, sabemos também das tentativas de “traduzir” as explicações em termos teleológicos em uma linguagem mecânica, por exemplo, sob o pressuposto do seu caráter factual, considerado ausente nas formulações teleológicas. Ao longo do debate acerca de dois projetos filosóficos de explicação funcional, a questão da legitimidade científica, em nosso entendimento, está superada. Como dissemos na introdução, além de refinar os projetos explanatórios, o ponto importante agora é definir os usos apropriados e inapropriados de noções teleológicas (e.g., função, objetivo) na biologia. Nas salas de aula de biologia no Brasil, três obras usadas pelos professores para o ensino dessa ciência na escola pública brasileira fazem amplo uso dos modos etiológico e sistêmico de função, como notamos em recente investigação (Carmo, 2010). No entanto, apesar do amplo uso — mormente do modo sistêmico — essas explicações, nos livros didáticos analisados, carecem de fundamentos epistemológicos consistentes para tratar das questões dos diferentes campos da biologia. Esse é, pois, o principal obstáculo para o ensino das vantagens e desvantagens das explicações em termos de função e objetivo na biologia. Por exemplo, em uma das obras analisadas, Frota-Pessoa explica que o sangue é um tecido conjuntivo e que “a função das hemácias é transportar oxigênio, além de parte do dióxido de carbono, em quantidade maior do que faria igual volume de plasma” (Frota-Pessoa, 2005, p. 142). Ao atribuir às hemácias a função de transportar dióxido de carbono (CO₂), o autor nos indica que não tem na devida conta a distinção entre função e acidente construída

no contexto da abordagem histórica de Wright. A função das hemácias é, de uma perspectiva etiológica, transportar oxigênio, sendo um mero acidente, uma casualidade, carrear outro gás.

Em termos gerais, levar em consideração os avanços epistemológicos do debate sobre as atribuições e explicações funcionais em biologia tem contribuições importantes a dar para um tratamento consistente dos usos de função no conhecimento escolar de biologia seja no ensino superior, seja no ensino médio. Dois modos analisados aqui de explicar funcionalmente na biologia (etiológico e sistêmico) oferecem bases epistemológicas consistentes para os usos de função no ensino de biologia. Em particular, já temos, como parte do conhecimento escolar de biologia do ensino médio, todos os requisitos para o emprego da abordagem sistêmica.

Agradecimentos

R.S.C. agradece à CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado; N.F.N.N. agradece à FAPESB pela concessão de bolsa de Doutorado e por apoios financeiros para pesquisa; C.N.E.H. agradece ao CNPq por bolsa de produtividade em pesquisa nível 1-C (nº 301259/2010-0) e à FAPESB e ao CNPq por financiamentos de projetos de pesquisa.

Referências

- Amundson R e Lauder GV. 1994. Function without purpose: the uses of causal role functions in evolutionary biology. *Biology and Philosophy* 9: 443-469.
- Angioni L. 1999. As partes dos animais, Livro I. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 9 (especial): 1-148.
- Aristóteles. 1984. *The complete works of Aristotle: the revised Oxford translation*. In J. Barnes (ed.). Princeton: Princeton University Press. 2 Vols.
- Aristóteles. 1999. As partes dos animais, Livro I. Tradução e comentários de L. Angioni. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 9 (especial): 17-34.
- Atran S. 1995. Causal constraints on categories. In: Sperber D, Premack D e Premack AJ, editors. *Causal cognition: a multi-disciplinary debate*. Oxford: Clarendon Press 205-233.
- Bartov H. 1981. Teaching students to understand the advantages and disadvantages of teleological and anthropomorphic statements in Biology. *Journal of Research in Science Teaching* 18: 79-86.
- Boorse C. 1976. Wright on functions. *The Philosophical Review* 85: 70-86.
- Brandon R. 1990. *Adaptation and environment*. Princeton: Princeton University Press.
- Buller D. 1998. Etiological theories of functions: a geographical survey. *Biology and Philosophy* 13: 505-527.
- Caponi G. 2003. Os modos da teleologia em Cuvier, Darwin e Claude Bernard. *Scientiae Studia* 1: 27-41.
- Carmo RS. 2010. *Explicações teleológicas e funcionais em livros didáticos de Biologia do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia.
- Carmo RS, Nunes-Neto, NF e El-Hani CN. 2012. Equivalentes funcionais e generalizações na biologia. In: Silva CC e Salvatico L, editores. *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul: seleção de trabalhos do 7º Encontro da AFHIC*. Porto Alegre: Entrementes Editorial 466-481. Cummins R.

1975. Functional analysis. *The Journal of Philosophy* 72: 741-765.
- Cummins R. 1983. *The nature of psychological explanation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cummins R. 2002. Neo-teleology. In: Ariew A, Cummins R e Perlman M, editors. *Functions: new essays in the Philosophy of Psychology and Biology*. Oxford: Oxford University Press 157-172.
- Davies PS. 2001. *Norms of nature: naturalism and the nature of functions*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ferreira MA. 2003. A teleologia na Biologia contemporânea. *Scientiae Studia* 1: 183-193.
- Frota-Pessoa O. 2005. *Biologia*. São Paulo: Scipione.
- Gallant RA. 1981. Pitfalls of personification. *Science and Children* 19: 16-17.
- Ghiselin MT. 2005. The Darwinian revolution as viewed by a philosophical biologist. *Journal of the History of Biology* 38: 123-136.
- Godfrey-Smith P. 1993. Functions: consensus without unity. *Pacific Philosophical Quarterly* 74: 196-208.
- Godfrey-Smith P. 1994. A modern history theory of functions. *Noûs* 28: 344-362.
- Goudge TA. 1961. *The ascent of life*. Toronto: University of Toronto Press.
- Griffiths P. 1992. Adaptive explanations and the concept of a vestige. In: Griffiths P, editor. *Trees of life: essays in the Philosophy of Biology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 111-131.
- Griffiths P. 1993. Functional analysis and proper functions. *The British Journal for the Philosophy of Science* 44: 409-422.
- Gregory TR. 2009. Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach* 2: 156-175.
- Hempel C e Oppenheim P. 1948. Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science* 15: 135-175.
- Hughes A. 1973. Anthropomorphism, teleology, animism, and personification: why they should be avoided. *Science and Children* 10: 10-11.
- Jacob F. 1983 [1970]. *A lógica da vida: uma história da hereditariedade*. Trad. de A. L. Souza. Rio de Janeiro: Graal.
- Jungwirth E. 1975. Caveat mentor: let the teacher beware! *Research in Science Education* 5: 153-160.
- Keil FC. 1992. The origins of an autonomous biology. In: Gunnar MR e Maratsos M, editors. *Modularity and constraints in language and cognition*. Hillsdale, NJ: Earlbaum 103-138.
- Keil FC. 1994. The birth and nurturance concepts by domains: the origins of concepts of living things. In: Hirschfeld LA e Gelman S, editors. *Mapping the mind: domain specificity in cognition and culture*. Cambridge: Cambridge University Press 234-254.
- Keil FC. 1995. The growth of causal understanding of natural kinds. In: Sperber D, Premack D e Premack AJ, editors. *Causal cognition: a multi-disciplinary debate*. Oxford, England: Clarendon Press 234-262.
- Kelemen D. 1999. The scope of teleological thinking in preschool children. *Cognition* 70: 241-272.
- Lauder GV, Leroi A e Rose M. 1993. Adaptations and history. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 294-297.
- Lennox JG. 1992. Teleology. In: Keller EF e Lloyd EA, editors. *Keywords in evolutionary biology*. Cambridge: MIT Press 324-333.
- Lewens T. 2004. *Organisms and artifacts: design in nature and elsewhere*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mayr E. 1992. The idea of teleology. *Journal of the History of Ideas* 53: 117-135.
- Mayr E. 2005. *Biologia: ciência única*. Trad. de M. Leite. São Paulo: Companhia das Letras.
- Millikan RG. 1984. *Language, thought, and other biological categories*. Cambridge: MIT Press.
- Millikan RG. 1989. In defense of proper functions. *Philosophy of Science* 56: 288-302.
- Millikan RG. 1993. Propensities, exaptations, and the brain. In: White queen psychology, and other essays for Alice. Cambridge: MIT Press 31-50.
- Neander K. 1991a. The teleological notion of "function". *Australasian Journal of Philosophy* 69: 454-468.
- Neander K. 1991b. Function as selected effects: the conceptual analyst's defense. *Philosophy of Science* 58: 168-184.
- Neander K. 1995. Explaining complex adaptations: a reply to Sober's 'Reply to Neander'. *British Journal for the Philosophy of Science* 46: 583-587.
- Nunes-Neto NF e El-Hani CN. 2009. O que é função? *Debates na Filosofia da Biologia Contemporânea. Scientiae Studia* 7: 353-401.
- Nunes-Neto NF e El-Hani CN. 2011. Functional explanations in biology, ecology, and earth system science: contributions from philosophy of biology. *Boston Studies in the Philosophy of Science* 290: 185-200.
- Owens J. 1968. Teleology of nature in Aristotle. *The Monist* 52: 159-173.
- Platão. 1977. *Timeu*. Trad. de C. A. Nunes. Belém: Editora da Universidade Federal do Pará.
- Salmon WC. 1990. *Four decades of scientific explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Salmon WC. 1992. Scientific explanation. In: Salmon MH, editor. *Introduction to the Philosophy of Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall 7-41.
- Schwab JJ, editor. 1963. *Biology teacher's handbook*. New York: John Wiley & Sons.
- Schaffner KF. 1993. *Discovery and explanation in Biology and Medicine*. Chicago: University of Chicago Press.
- Sober E. 1993. *The Philosophy of Biology*. Boulder, CO: Westview Press.
- Šustar P. 2007. Neo-functional analysis: phylogenetical restrictions on causal role functions. *Philosophy of Science* 74: 601-615.
- Warren HC. 1916. A study of purpose. *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods* 13: 5-26.
- Weisz PB. 1971. *The science of biology*. New York: McGraw-Hill.
- Wright L. 1973. Functions. *The Philosophical Review* 82: 139-168.

Pseudo-história e ensino de ciências: o caso Robert Hooke (1635-1703)

Pseudo-history and science teaching: the case Robert Hooke (1635-1703)

Taysy Fernandes Tavares¹, Maria Elice Brzezinski Prestes^{1, 2, 3}

¹Grupo de Pesquisa em História da Biologia e Ensino (GPHBE)

²Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

³Grupo de Pesquisa em História, Teoria e Ensino de Ciências (GHTEC)

Contato dos autores: ¹taysyfernandes@hotmail.com, ²eprestes@ib.usp.com

Resumo. Esta pesquisa utiliza análise de componentes característicos de narrativas míticas em trechos históricos de livros didáticos. A presença desses componentes é indicadora de o que Douglas Allchin denomina “pseudo-história”, que deve ser evitada no ensino de ciências. O episódio histórico analisado foi o da observação da cortiça realizada por Robert Hooke no século XVII em livros didáticos de biologia, aprovados no PNLEM/2009. Os resultados encontrados mostram que embora contribua à discussão metacientífica, a proposta de Allchin parece insuficiente quando aplicada sobre materiais muito breves, sendo necessário um estudo aprofundado do episódio histórico em questão.

Palavras-chave. História da biologia, livros didáticos, pseudo-história, Robert Hooke.

Abstract. This research analyzes characteristic features of mythical narratives on historical episodes in textbooks. The presence of these components is indicative of what Douglas Allchin called “pseudo-history”, which should be avoided in science education. The historical episode examined in biology textbooks approved in PNLEM/2009 was the observation of cork by Robert Hooke, in the 17th century. The results show that although contributes to metascientific discussion, the proposal seems inadequate when applied to very short materials, requiring an in-depth study of the historical episode in question.

Keywords. history of biology, textbooks, pseudo-history, Robert Hooke.

Recebido 28mar11

Aceito 07jul11

Publicado 15dez12

Introdução

A tendência atual do ensino das ciências associa à aprendizagem dos conteúdos propriamente científicos, os demais componentes históricos, filosóficos, sociais e culturais envolvidos na construção desse tipo de conhecimento. Essa tendência vem sendo valorizada, ainda que com ênfase distinta, em diferentes esferas: nos documentos oficiais de ensino, como os *Parâmetros Curriculares Nacionais* (PCN), *PCN+* e *Proposta Curricular do Estado de São Paulo*; nos trabalhos de pesquisadores das áreas de ensino de ciências (Matthews, 1991, 1994; Caldeira e Caluzi, 2005) e de história da ciência (Martins, 1990; Silva, 2006), bem como nas práticas dos próprios professores da educação básica.

O interesse dos professores de biologia em utilizar a história de sua disciplina em sala de aula pode ser percebido pelo número crescente de relatos de experiência apresentados nos congressos da área em nosso país. Isso vem ocorrendo, por exemplo, nos encontros de história e filosofia da biologia (EHFB) promovidos pela Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia (ABFHiB), nos encontros nacionais e regionais de ensino de biologia (Enebio e Erebio) promovidos pela Sociedade Brasileira de Ensino de Biologia (SBEnBio) e nos encontros nacionais de pesquisa em educação em ciências (Enpec) pro-

movidos pela Associação Brasileira de Pesquisa e Educação em Ciências (Abrapec).

Entretanto, os professores de biologia do ensino médio encontram muitas dificuldades para utilizar a história da biologia em sala de aula. Uma das razões dessas dificuldades está na própria formação dos professores. Ainda é tímida a presença de disciplinas de história e/ou filosofia da biologia nas grades curriculares dos cursos de licenciatura em nosso país. Outra razão é a pouca quantidade de material acessível – isto é, em língua portuguesa –, aprofundado, atualizado e livre de equívocos históricos.

A fonte de conteúdo histórico disponível para os professores acaba sendo, quase exclusivamente, aquela das introduções históricas de alguns capítulos dos livros didáticos, quando existem. No entanto, esses textos costumam ser bastante breves e, em geral, não são orientados pela nova historiografia da ciência. São pautados pela historiografia praticada na primeira metade do século XX, que se caracterizava por privilegiar a descrição de grandes personagens e de eventos ou episódios marcantes, ocorridos em datas determinadas e como fatos independentes dos demais (Martins, 1993). Além disso, os relatos históricos de livros didáticos não raro apresentam concepções históricas consideradas errôneas pela historiografia atual (Martins, 1998).

As discussões sobre esse problema não são novas,

nem locais¹. Em 1979, Whitaker criticou os livros didáticos de ensino de física por conterem materiais que, embora parecessem históricos, falhavam em comunicar a história de verdade. Sendo o objetivo primário desses livros o de relacionar fatos científicos, o relato histórico que eventualmente continham servia apenas como um quadro de referência para dar sentido aos tópicos científicos e torná-los mais facilmente lembrados nos exames. Whitaker chamou esses relatos de “quase-história” e discorreu sobre os impactos negativos na formação dos alunos (Whitaker, 1979, p. 108; pp. 239-242).

Mais recentemente, em 2004, Douglas Allchin retomou o acento crítico sobre o que chamou “pseudo-história” contida nos livros didáticos voltados aos diferentes níveis de ensino, da escola básica à superior. Com o termo “pseudo-história”, referiu-se aos casos que transmitem “ideias falsas sobre o processo histórico da ciência e a natureza do conhecimento científico, mesmo quando baseados em fatos reconhecidos” (Allchin, 2004, p. 186). Na pseudo-história, acontecimentos históricos reais são descritos de modo fragmentário e com omissão do contexto.

Além de desenvolver a noção de pseudo-história, Allchin também descreveu o que denomina “falsa história” contida em livros didáticos. Com esse termo, referiu-se aos casos de simples falta de acuidade histórica (datas erradas, por exemplo) ou de equívocos muitas vezes derivados de anedotas populares (o exemplo mais conhecido disso é o da maçã caindo sobre a cabeça de Newton).

Evitar os danos causados pela presença de falsa história no ensino de ciências parece uma tarefa mais fácil. Uma possibilidade é a de explicitar aos alunos a origem apócrifa desses relatos e confrontá-los com informação histórica mais acurada.

Porém, evitar os efeitos negativos da pseudo-história na formação dos alunos é bem mais difícil ao professor do ensino médio. O primeiro desafio que se coloca é o da identificação de uma pseudo-história. Esse tipo de relato muitas vezes pretende mostrar como a ciência funciona, mas, a depender da seleção dos fatos descritos, pode promover imagens enganosas sobre a natureza da ciência. Como um professor da escola básica pode reconhecer esses problemas em uma narrativa histórica sem ter que se tornar um historiador da ciência profissional?

Como uma saída alternativa ao professor, Allchin propôs a noção de “concepções científicas míticas” como uma proposta pela qual os professores poderiam promover uma análise da narrativa histórica de livros didáticos com base em elementos da literatura e da retórica (Allchin, 2003). A proposta parte do pressuposto que pode ser facilmente utilizada por qualquer professor, mesmo os não familiarizados com história da ciência ou com teoria literária.

1 Diferentemente do que ocorre na pesquisa em biologia propriamente, em que se leva em conta apenas estudos recentes, na pesquisa em história da ciência é desejável considerar discussões anteriores que permanecem válidas. Assim, para conhecer alguns dos diferentes argumentos favoráveis, e desfavoráveis, ao uso da história da ciência no ensino de diferentes disciplinas científicas, da escola básica e superior, ver: Klein (1972); Duschl (1985); Brush (1989); Pumfrey (1991); Martins (1990).

O conceito de concepções científicas míticas², que será detalhado na próxima seção deste artigo, foi associado ao de pseudo-história. Esta variante em relação ao conceito de quase-história de Whitaker é que nos levou a adotar a proposta de Allchin na presente pesquisa.

O objetivo da pesquisa foi o de verificar a pretendida facilidade de aplicação da proposta de Allchin na análise de trechos de livros didáticos de biologia, aprovados no PNLEM/2009³. O estudo de caso, relato da observação da cortiça realizada por Robert Hooke (1635-1703), foi selecionado por ser tema recorrente nos materiais instrucionais e por sua relevância em fornecer o contexto das primeiras observações microscópicas de seres vivos.

Antes de apresentarmos o método desta pesquisa, faremos uma exposição mais detalhada de seu referencial teórico, ou seja, da ferramenta de análise sugerida por Douglas Allchin.

Identificação de concepções científicas míticas

A proposta de Douglas Allchin consiste em habilitar o professor a identificar nas narrativas históricas elementos indicadores do estilo mítico. A análise recai, pois, sobre a dimensão retórica e literária dos textos, e não sobre a sua acuidade histórica. O pressuposto subjacente é o de que uma narrativa de estilo mítico é indicativa da presença de pseudo-história.

Para o reconhecimento da narrativa de estilo mítico, Allchin propõe a análise de quatro indicadores que constituem a “arquitetura dos mitos científicos”. Esses indicadores expressam técnicas literárias reconhecidas da narração mítica e foram denominados pelo autor como: 1) monumentalidade, 2) idealização, 3) drama afetivo e 4) narrativa explicativa e de justificação.

Por **monumentalidade**, o autor nomeia um tipo de abordagem que almeja envolver o leitor fazendo recurso à grandiosidade conferida aos cientistas e à amplificação do significado de suas descobertas. Confere aos personagens traços de verdadeiros heróis, caracterizados apenas por seus aspectos positivos. Não menciona características pessoais menos nobres ou erros teóricos ou metodológicos cometidos em suas pesquisas. Por sua vez, a supervalorização das descobertas leva justamente a casos como o analisado adiante neste artigo: em vez de algo como, “procurando explicar as propriedades físicas da cortiça, Hooke observou sua constituição microscópica”, diz-se: “Hooke descobriu a célula” ou “Hooke fundou a citologia”.

Segundo nossa análise, esse tipo de narrativa mo-

2 A expressão “concepções científicas míticas” perde o impacto do termo original em inglês “scientific myth-conceptions”, que faz trocadilho com o termo “scientific misconceptions” (concepções científicas equivocadas) de uso frequente na literatura de ensino de ciências.

3 Estudos que também utilizaram o referencial de Allchin foram feitos por Pagliarini e Silva (2007) e Isladj e Prestes (2010). De modo semelhante, outras análises do conteúdo histórico de livros didáticos basearam-se em proposta de Laurinda Leite (2002), que foi adaptada por Paulo Vidal (2009), sobre um episódio da história da química, e por Fabricio Bittencourt e Maria Elice Prestes (2010), sobre um episódio de história da biologia.

numental vai além de o que os historiadores já criticaram como sendo as biografias idólatras de santos e líderes eclesiásticos, as chamadas hagiografias (Kragh, 1987, p. 168). Com o recurso à monumentalidade, Allchin confere traços aos cientistas que são partilhados com os heróis da literatura ficcional. Os santos não cometem erros, os heróis salvam a humanidade.

O objetivo do uso desse recurso nos relatos históricos parece ser o de engajar o leitor, de inspirar o estudante. O problema é que causa efeito contrário: eleva o cientista a um patamar que parece inatingível ao jovem em formação. Por outro lado, ao mostrar uma ciência feita por “super-humanos”, falha em mostrar a ciência como empreendimento puramente humano (Allchin, 2003, pp. 342-343).

Por **idealização**, o autor refere-se ao recurso narrativo que se concentra em uma mensagem particular, acentuando-a, ao mesmo tempo em que nivela ou retira a ênfase dos detalhes. Uma dada contribuição para a ciência é isolada e retirada de seu contexto. Não são indicadas as pesquisas precedentes que a originaram, não são mencionadas as pesquisas contemporâneas com as quais dialogava. Não são considerados aspectos da época, do lugar e da cultura em que ocorreu, nem as contingências da personalidade e da formação dos personagens envolvidos. Todos esses “detalhes” são omitidos em nome do “contar uma *boa história*” (Allchin, 2003, pp. 343-345). A descontextualização decorrente do uso desse artifício empobrece e falseia o processo de elaboração do conhecimento científico.

Por **drama afetivo**, Allchin refere-se a artifício retórico como o do conflito dramático, seja entre pessoas ou entre ideias. Um artifício retórico frequente é o de amplificar e dramatizar a relação entre adversários contrastados, ao estilo “do bem e do mal”: Darwin versus Lamarck; Galileu versus Igreja. Outros artifícios retóricos listados por Allchin são o realce à emoção do momento da descoberta, à surpresa do acaso, à recompensa por um comportamento íntegro, à ironia trágica, etc. O objetivo desse recurso na literatura é, essencialmente, o de produzir entretenimento e persuasão. Por consequência do “efeito emocional” provocado no ouvinte ou leitor, o recurso acarreta o subproduto desejado: torna a história memorável. A nosso ver, o problema decorrente do uso desmedido desses artifícios é claro: são, provavelmente, os maiores responsáveis pelos erros que produzem as falsas histórias.

Por **narrativa explicativa e de justificação**, Allchin refere-se ao papel explicativo dos mitos. Eles possuem o recurso comum às fábulas de ter uma “lição” ou moral implícita. “Contos históricos da ciência modelam implicitamente o processo científico”, mostrando como uma série de eventos leva necessariamente a certo resultado, a certo achado científico famoso (Allchin, 2003, p. 346). Esse tipo de narrativa funde o processo ao produto da ciência, explica *narrativamente* os métodos da ciência e com isso *justifica* a autoridade das conclusões científicas. Essa fusão está assentada em pressuposições como: a ciência desenvolve um método especial, independente de contingências, contexto ou valores, os experimentos são sempre perfeitamente planejados, a interpretação das evidências é não-problemática, os feitos científicos são realizados por intelectos

privilegiados, acima de qualquer suspeita. Em suma, reduz a natureza da ciência à máxima: “como a ciência descobre a verdade” (id.).

Não sendo objetivo desta pesquisa discutir a concepção de ciência implícita na proposta de Allchin, nos detivemos em sumarizar as características dos indicadores por ele propostos. Também não nos preocupamos em indicar como ele construiu tal ferramenta a partir da análise de diferentes narrativas históricas voltadas a estudos de caso como os de Gregor Mendel, Bernard Kettlewell, Alexander Fleming, Ignaz Semmelweis e William Harvey. Para isso, recomendamos, naturalmente, a leitura do artigo original de Allchin, de 2003.

Assinalados os quatro indicadores gerais que pautaram a análise inicial dos textos, passaremos à descrição da parte empírica da pesquisa realizada.

Método

A primeira etapa da pesquisa foi vistoriar os livros didáticos de biologia do ensino médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM/2009)⁴. A vistoria foi feita sobre oito dentre os nove títulos aprovados, por estarem disponíveis no acervo do Laboratório de Licenciatura (LabLic) do IB/USP⁵.

Foram determinados, primeiramente, quais os livros que continham relato sobre o estudo de caso selecionado, a observação microscópica da cortiça feita por Robert Hooke no século XVII. Dos oito títulos consultados, sete continham conteúdo histórico sobre o tema. Três desses livros são apresentados na forma de coleção em três volumes (aqui identificados com as siglas 1LD, 2LD e 3LD) e quatro, na de volume único (aqui identificados como 4LDU, 5LDU, 6LDU, 7LDU)⁶.

Analisando a extensão e o conteúdo dos trechos encontrados, notou-se que a primeira variou entre 2 a 11 parágrafos, mais eventuais legendas de ilustrações; o conteúdo referente à biografia de Robert Hooke variou de um a três parágrafos, sendo esses os que serviram à análise aqui apresentada.

Definidos os textos objeto de análise, a primeira autora deste artigo procurou relações com os quatro indicadores gerais de Allchin. A autora estava no início de seu estágio no Grupo de Pesquisa em História da Biologia e Ensino do IB/USP, não possuindo, nesse momento, conhe-

4 A amostra pequena se justifica pelo objetivo primário da pesquisa ser o de testar a ferramenta de análise descrita por Allchin, e não o de promover uma análise dos conteúdos históricos dos livros didáticos em geral.

5 A identificação da edição que foi efetivamente avaliada no PNLEM finalizado em 2007 (publicado em 2008 com o título de PNLEM/2009) baseou-se nas informações disponíveis no Catálogo do PNLEM/2009 (Brasil, 2008), bem como na identificação fornecida pelas editoras na capa dos livros.

6 1LD (Silva Jr e Sasson); 2LD (Amabis e Martho); 3LD (Paulino); 4LDU (Lopes e Rosso); 5LDU (Linhares e Gewandzsjander); 6LDU (Favaretto e Mercadante) e 7LDU (Laurence). O ano de publicação dessas obras é imediatamente posterior à sua aprovação pelo PNLEM (embora, em geral, refram-se a títulos que possuem edições anteriores).

cimentos sobre história da biologia em geral ou sobre o caso selecionado, correspondendo, nesse aspecto, ao perfil comum de um professor de biologia.

O procedimento adotado foi o de fazer a leitura integral dos trechos encontrados, com o objetivo de localizar palavras ou expressões dos quatro indicadores gerais de Allchin. Dificuldades iniciais levaram ao desenvolvimento de um formato mais telegráfico para cada indicador e que contemplasse apenas alguns de seus aspectos. Essas reconstruções, que chamamos “descritores” foram:

Monumentalidade: personagem-herói (sem defeitos e “salvador” da humanidade); amplificação do feito científico.

Idealização: personagem isolado; feito científico isolado.

Drama afetivo: conflito dramático entre pessoas e ideias.

Narrativa explicativa e de justificação: relação direta, unívoca e linear entre o uso do método e a produção de conhecimento.

Na segunda etapa da pesquisa, a primeira autora empreendeu o estudo da obra *Micrographia* de Hooke. O livro foi analisado em sua estrutura geral, seguindo-se a leitura atenta da seção em que é descrita a observação da cortiça. Paralelamente, foram consultadas fontes secundárias (isto é, textos de historiadores da ciência). Esses estudos permitiram a redação de uma breve biografia de Robert Hooke e de uma descrição de sua observação microscópica, apresentadas adiante.

Na terceira etapa da pesquisa, foi feita uma nova avaliação dos livros didáticos com o objetivo de comparar com os resultados obtidos na primeira análise. Nessa etapa tornou-se possível identificar, além de equívocos factuais e distorções historiográficas, omissões que implicam a descontextualização do episódio.

Resultados e discussão

Primeira etapa: análise dos livros didáticos com os descritores de Allchin

A análise realizada permitiu identificar um exemplo de palavra ou expressão indicadora do descritor **monumentalidade**: “Hooke foi possivelmente o maior gênio das Ciências experimentais de seu século. [...] Hooke também foi um microscopista de *grandes méritos*” (1LD, p. 88, grifos nossos). O leitor é, nessa passagem, envolvido pela grandiosidade conferida à pessoa de Robert Hooke, pelos grandes feitos do personagem elevado à categoria de herói.

Por sua vez, o indicador **idealização** pôde ser identificado nos seguintes trechos: “Em 1665, o inglês Robert Hooke (1635-1703) publicou suas observações de estruturas visíveis ao microscópio de luz [...]. Essas observações *lhe valeram o crédito de descobridor* das células (4LD, p. 55, nossos grifos); “Em 1665, Robert Hooke, *um cientista inglês*, estava trabalhando com um microscópio rudimentar e observou uma delgada fatia de cortiça; ele conseguiu,

pela *primeira vez*, distinguir os contornos de uma célula [...] Embora Hooke já houvesse observado a célula em 1665” (7LDU, p. 106, grifos nossos). Os termos grifados indicam o isolamento do personagem e seu feito científico.

O indicador de **narrativa explicativa e de justificação** aparece nos seguintes trechos: “A história da citologia, como vimos no início do capítulo, *acompanhou*, na verdade, a história do microscópio. *À medida que aumentava a qualidade desse instrumento*, aprendia-se cada vez mais sobre a estrutura celular” (1LD, p. 90, grifos nossos); “O estudo das células – a *Citologia* – tornou-se possível com a invenção de aparelhos que podiam aumentar a capacidade visual” (6LDU, p. 70, grifos nossos). Nesses casos, o progresso técnico é apresentado como condição necessária e *suficiente* para a produção do conhecimento científico, simplificando os determinantes do desenvolvimento dos conceitos e teorias científicas.

Foram esses os exemplos encontrados de indicadores de narrativa mítica nos livros aprovados pelo PN-LEM/2009 – o que estimamos ser uma pequena quantidade de problemas. O resultado pareceu-nos positivo também por tais problemas só terem aparecido em quatro dos livros analisados (1LD, 2LD, 6LD e 7LD), ficando três deles (3LD, 4LD e 5LD) sem apresentarem qualquer indicador de narrativa mítica.

A segunda etapa da pesquisa foi a análise das fontes primárias e secundárias com o objetivo de produzir a síntese que se segue sobre a biografia científica de Hooke e sobre a análise de sua observação da cortiça.

Segunda etapa: síntese da biografia e análise da obra de Robert Hooke

Robert Hooke nasceu em 18 de julho de 1635, em Fresh Water, na ilha inglesa de Wight. Aos 13 anos começou a estudar em Londres e aos 18 anos foi para Oxford, passando a estudar no *Christ Church College* onde se formou aos 28 anos de idade, em 1662 ou 1663.

Desde 1655, ele tinha se tornado bem conhecido entre os pesquisadores de Oxford por sua habilidade em construir dispositivos mecânicos e experimentais. Foi assistente de alguns filósofos naturais de prestígio naquele círculo, como Robert Boyle (1627-1691). Construiu uma “máquina pneumática” (bomba de vácuo) para Boyle, que foi fundamental para suas pesquisas (Martins, 2011, pp. 6-8).

Como pesquisador formado nesse círculo, Hooke esteve envolvido nas fases iniciais da *Royal Society*. Em 1662, foi nomeado “Curador de Experiências”, o que significava fazer apresentações semanais de “experimentos formidáveis” aos membros da sociedade (Westfall, 1970-1980, v. 6, p. 483). A *Royal Society* seguia diretrizes de Francis Bacon (1561-1626), procurando obter conhecimentos a partir da observação direta da natureza. “Os seus membros valorizavam muito a observação e a experimentação” (Martins, 2011, p. 10).

Como característico da época, Hooke desenvolveu estudos em diversas áreas do conhecimento, tais como física, meteorologia, astronomia, geologia e fenômenos bio-

lógicos como a respiração. “Sobressaiu-se mais como um pesquisador em extensão que em profundidade: aparentemente, satisfazia-se com o domínio da reprodução mecânica do fenômeno, sem aprofundar-se nos fundamentos teóricos” (Os cientistas, 1971, p. 137).

Robert Hooke realizou um grande número de estudos, dentre os quais as observações microscópicas. Ele publicou os resultados obtidos em uma obra intitulada *Micrographia, or some phsiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon* (Micrografia, ou algumas descrições fisiológicas de pequenos corpos, feitas com lentes de aumento, com observações e investigações sobre os mesmos). O livro contém 57 observações microscópicas, além de três realizadas com um telescópio.

Ao microscópio, Hooke observou diversos objetos inanimados, como a ponta de uma agulha, o fio de uma navalha, gotas e bastões de vidro, grãos de areia, cristais de neve, tecidos como tafetá e linho.

Além disso, observou diversos organismos ou partes de organismos, como cogumelos, algas, folhas, cabelo, ferrão de uma abelha, penas, patas de moscas e outros insetos, asas e cabeça de uma mosca, dentes de uma cobra, ovos do bicho da seda, uma formiga, vermes do vinagre e pedaços de cortiça. Como se depreende da vistoria dessa lista, o interesse de Hooke não era absolutamente biológico, mas microscópico (Martins, 2011, p. 14).

Habilidoso na construção de instrumentos, Hooke fez essas observações em um microscópio composto construído por ele próprio. O instrumento possuía partes removíveis, as diferentes lentes podiam ser trocadas conforme a conveniência de observar partes maiores do objeto em vez de algum detalhe. De acordo com a descrição que forneceu (Figura 1), o instrumento “permitia obter aumento de aproximadamente 40 diâmetros” (Martins, 2011, p. 16).

Nessa época o microscópio composto possuía pequeno poder de ampliação e oferecia dificuldades de iluminação. Porém, Hooke introduziu novidades técnicas no seu instrumento: pequeno tamanho; um sistema de iluminação mais poderoso, empregando luz difusa para evitar os fortes reflexos ocasionados pela luz solar direta; a introdução de uma lente intermediária entre a objetiva e a ocular; o sistema de sustentação do microscópio, que permitia movimentos do seu corpo em qualquer direção; uma plataforma giratória para colocar as amostras estudadas (Mayall *apud* Martins, 2011, p. 18).

Como observou Roberto Martins, comparado aos padrões atuais, o poder de ampliação desse microscópio composto era pequeno. Porém, Hooke também construiu e utilizou microscópios de uma só lente, capazes de ampliar cerca de 200 ou 300 vezes. Isso também foi feito por outros pesquisadores da época, especialmente os do norte da Europa (Wilson *apud* Martins, 2011, p. 19).

Quanto ao exame da cortiça, ele é encontrado na 18ª observação do *Micrographia* com os seguintes termos:

“Pude perceber claramente que ela era toda perfurada e porosa, como um favo de mel, mas os poros não eram

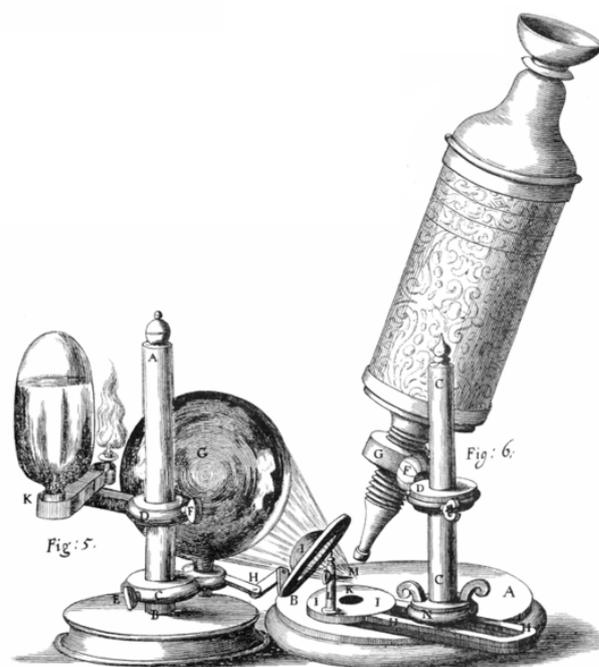


Figura 1. O microscópio composto representado por Hooke na *Micrographia*. Fonte: Hooke, 1665, prancha 1.

regulares.” (Hooke, 1665, p. 112-113)

A sequência do relato mostra que a observação da cortiça foi guiada pelo interesse em compreender três propriedades físicas dessa substância: leveza, fluatuabilidade e elasticidade.

As suas observações ao microscópio permitiram concluir que a **leveza** da cortiça, assim como a de “um favo vazio, uma esponja, uma pedra-pome ou outro semelhante”, era devido a “uma quantidade muito pequena de corpo sólido estendido em dimensões extremamente grandes” (Hooke, 1665, p. 113). Ou seja, o “corpo sólido” correspondia ao que hoje chamamos as paredes celulares das células da casca da árvore, que por estarem mortas, delimitavam espaços de “dimensões extremamente grandes”.

A **fluatuabilidade** decorria de a substância da cortiça ser “toda preenchida de Ar, e que esse Ar é perfeitamente fechado em pequenas Caixas ou Células distintas umas das outras” (Hooke, 1665, p. 113).

Quanto à **elasticidade**, Hooke inferiu que ela podia ser explicada por ser essa uma propriedade tanto do ar que preenchia as cavidades, quanto das paredes que as delimitam. Assim ele se expressou:

“O Microscópio facilmente informa [...] a massa toda [da cortiça] consiste de uma associação infinita de pequenas Caixas ou Balões de Ar, que é uma substância de natureza elástica e que sofre uma condensação considerável [...]. Além disso, parece bastante provável que aqueles filmes, ou lados dos poros, tenham, eles mesmos, uma qualidade elástica, como ocorre a quase todo outro tipo de substâncias Vegetais, de modo a ajudar que retomem sua posição inicial.” (Hooke, 1665, pp. 113-114)

Hooke também descreveu outras propriedades da cortiça. Reconheceu que se tratava de algo produzido pela própria árvore, como uma excrescência da casca, sendo distinta das camadas do interior do tronco do sobreiro, mas que são comuns a outras árvores. Neste aspecto, nota-se que ele comparou a cortiça com o que poderia ser visto no tronco de outras árvores, mas não comparou com outros tipos de plantas nem com outras partes dos vegetais em geral.

Relendo os originais de Hooke, pode-se então perceber que, embora seja evidente hoje, por seu desenho (Figura 2), que ele visualizou a parede espessa de células mortas de cortiça, o que entendeu estar observando ao microscópio foi uma estrutura (formada por espaços + paredes + ar) que explicava as três propriedades físicas da cortiça (leveza, flutuabilidade, elasticidade). Ele **não** interpretou a célula vista ao seu microscópio como algum tipo de unidade básica, estrutural e fisiológica, dos seres vivos.

Outro aspecto que chama a atenção no *Micrographia* é o uso de termos diferentes para denominar a estrutura que Hooke visualizou na cortiça: poros, células, caixas, bolhas de ar. O termo “célula” deriva da comparação aos quartos dos mosteiros da época, que eram chamados de “celas”. Hooke não fez uso exclusivo desse termo, embora tenha sido esse o termo que acabou consagrado posteriormente.

Além disso, a estrutura microscópica de diferentes corpos, seres vivos ou objetos inanimados, foi investigada por muitos estudiosos da época. Para citar apenas alguns, Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), observou a presença de cavidades em secções transversais de sementes e de caules de mudas de carvalho; Nehemiah Grew (1641-1712) e Marcelo Malpighi (1628-1694) observaram “bolhas”, “poros”, “células”, “bexigas” em diversos tecidos vegetais.

A principal conclusão a partir do exposto acima é a de que há um equívoco historiográfico quando se atribui a Hooke o mérito de ser o “descobridor da célula”, pois o que ele viu e descreveu não é o que hoje entendemos por esse termo⁷. Embora seja comum mencionar as observações de Hooke na história dos estudos sobre a célula, vimos que ele estava interessado em explicar as propriedades da cortiça, e em nenhum momento estabeleceu relação entre as suas observações e uma constituição celular universal das plantas ou dos seres vivos em geral (Prestes, 1997, p.10). Na mesma perspectiva, não se pode dizer que “ele deu origem à citologia”, programa de pesquisa que só se constituiu como tal no século XIX.

Na historiografia da ciência da primeira metade do século XX, costumava-se atribuir o mérito de descobertas ou a elaboração de teorias exclusivamente à genialidade deste ou daquele pesquisador. A historiografia renovada, que se pratica hoje, busca, sem desmerecer os talentos individuais, a “reciprocidade entre as condições sociais e materiais de uma época e aqueles que as experienciam e atuam sobre elas” (Wilson, 1997, p. 4). Desse modo, os

7 A síntese teórica mais próxima de o que entendemos por célula hoje ocorreu com a chamada teoria celular de Matthias Schleiden (1804-1881) e Theodor Schwann (1810-1882), em 1838.

Fig. 1.

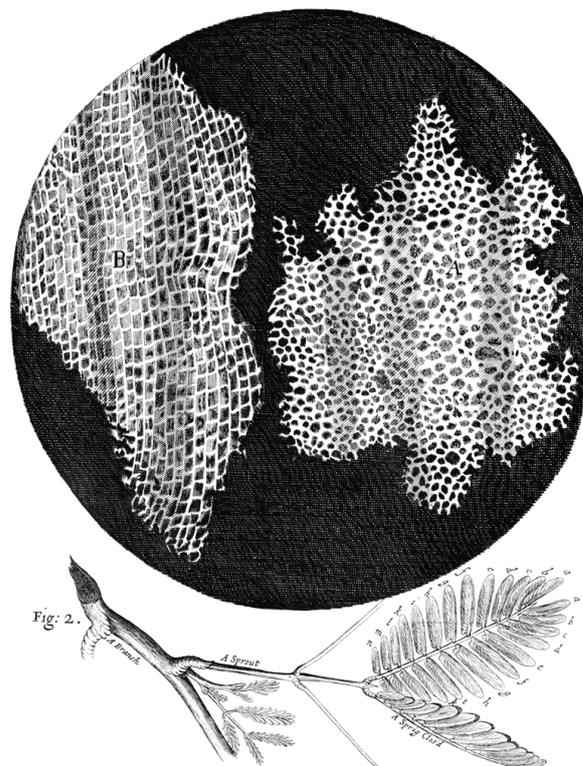


Figura 2. Ilustração de células de cortiça por Robert Hooke no livro *Micrographia*, de 1665. Fonte: <http://www.gutenberg.org/files/15491/15491-h/images/scheme-11.png>

achados científicos são interpretados no contexto da comunidade de pesquisadores, antecessores e contemporâneos.

Terceira etapa: nova análise dos livros didáticos, com base no estudo histórico

Após o estudo sobre a contribuição de Hooke, conforme sumarizado acima, os sete livros didáticos analisados nesta pesquisa foram reavaliados. Essa nova análise permitiu identificar aspectos anteriormente não percebidos e que foram agrupados em duas categorias: a) equívocos factuais e distorções historiográficas; b) omissões que ocasionam descontextualização do episódio.

Dentre os exemplos de equívocos e distorções, encontramos:

A denominação de célula foi criada em 1665 pelo cientista inglês Robert Hooke (1635-1703) para indicar pequenas cavidades no interior da cortiça que ele havia observado com o *microscópio muito simples*. (5LDU, grifo nosso)

Em 1665, Robert Hooke, um cientista inglês, estava trabalhando com um *microscópio rudimentar* e observou uma delgada fatia de cortiça [...]. (7LDU, grifo nosso)

Em 1665, o pesquisador inglês Robert Hooke, usan-

do um *microscópio bastante rudimentar*, iluminado a vela, observou que a cortiça (“casca” das árvores) era formada por numerosos compartimentos vazios. (3LD, grifo nosso)

Como descrito anteriormente, Hooke usou tipos diferentes de microscópios, nos quais introduziu novidades técnicas para a época. Embora no *Micrographia* seja indicado apenas um microscópio composto, e historiadores da ciência tenham reforçado a visão de que foi apenas esse instrumento de que Hooke se serviu, Roberto Martins destacou que “seria impossível descrever os detalhes microscópicos apresentados nessa obra utilizando apenas uma ampliação de 40 vezes” (Martins, 2011, p. 19). Além disso, o estudo detalhado de suas apresentações à Royal Society indica que Hooke conhecia bem as vantagens do uso do microscópio simples, mas que o abandonou por considerar que causava danos aos seus olhos (Martins, 2011, p. 20).

Nessa fase, foi possível perceber também que alguns dos livros didáticos fizeram uso anacrônico do termo “cientista” para referir-se a Hooke, pois esse termo só foi cunhado nos anos 1830 em analogia ao termo “artista”. Em seu próprio contexto, Hooke era um “físico” ou um “filósofo natural” – termos que devem ser preferidos num relato histórico não anacrônico⁸.

Mais significativo nessa fase da análise foi a possibilidade de reconhecer as omissões que implicam descontextualização do episódio. Assim, por exemplo, o estudo da *Micrographia* permitiu à primeira autora perceber que o que motivou Robert Hooke a realizar a observação da cortiça foi a busca por compreender as propriedades físicas da cortiça (e não a constituição ou estrutura elementar das plantas). Dentre os livros analisados, apenas um fez essa menção (1LD, p. 6).

Outra lacuna detectada diz respeito à ausência de menção a microscopistas anteriores e contemporâneos de Hooke. No entanto, em três dos sete livros analisados (1LD, 4LDU, 6LDU) foi feita menção às observações microscópicas de Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), enquanto em um quarto livro (2LDU) também foram citados os fabricantes de microscópios Hans e Zacharias Janssen.

Considerações Finais

Os resultados obtidos na primeira etapa da pesquisa empírica aqui realizada mostram que os textos vistoriados apresentam poucas ocorrências de o que Allchin denominou indicadores de narrativa mítica em narrativas históricas. Ainda que se trate de um resultado positivo, sob a perspectiva de uma abordagem histórica adequada, é preciso levar em conta alguns fatores. Um deles diz respeito ao fato de a análise ter sido feita propositalmente sobre os livros aprovados no PNLEM/2009, ou seja, que representam já os melhores materiais disponíveis no mercado. Outro aspecto a ser considerado é o de que os trechos referentes a Hooke

são bastante curtos, tendo variado, nos livros aqui analisados, de um a três parágrafos, o que minimiza a possibilidade de daquelas ocorrências.

Por outro lado, a detecção de problemas nos relatos históricos aqui analisados foi ampliada após o estudo do episódio em questão. Nessa fase da pesquisa foram encontrados equívocos que enfatizam a descrição de grandes personagens e de eventos marcantes, bem como a omissão de pesquisadores e episódios relacionados. Assim, as duas análises aqui realizadas indicam que o método de Allchin é insuficiente para textos curtos.

Retomando Whitaker, é certo que o objetivo primordial dos livros didáticos não é o de fornecer relatos históricos – daí o pouco espaço disponível para eles. Contudo, segundo a perspectiva de uso inclusivo da história da ciência no ensino de ciências, uma opção melhor, talvez, fosse a de reduzir o número de episódios históricos abordados para que se ganhasse mais espaço para apresentações contextualizadas.

Dessa forma, o livro didático atenderia ao que se preconiza atualmente no ensino de ciências, apresentando o conhecimento científico associado a seu contexto de produção. Por sua vez, os professores de ensino médio contariam com materiais históricos consonantes com a historiografia renovada da história da ciência, que incorpora uma dentre as várias possibilidades pelas quais se alcança o ensino contextual de ciências.

Agradecimentos

A segunda autora agradece à Fapesp e ambas autoras agradecem às criteriosas sugestões do parecerista anônimo que muito contribuíram à maior clareza do texto.

Referências

- Allchin D. 2003. Scientific myth-conceptions. *Science & Education* 87: 329-351.
- Allchin D. 2004. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* 13: 179-195.
- Caldeira AMA e Caluzi JJ, organizadores. 2005. *Filosofia e História da Ciência: contribuições para o ensino de ciência*. Ribeirão Preto: Kayros.
- Bittencourt FB e Prestes MEB. 2010. Análise de episódios da História da Genética em livros didáticos do Ensino Médio. 1ª Conferência Latino Americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (1ª IHPST-LA), Maresias (SP). Caderno de Resumos.
- Brush SG. 1989. History of science and science and science education. *Interchange* 20 (2): 60-70.
- Brasil, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. 2008. *Biologia: catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio, PNLEM/2009*. Brasília: Ministério da Educação.
- Duschl RA. 1985. Science education and philosophy of science: twenty-five years of mutually exclusive development. *School Science and Mathematics* 85 (7): 541-555.
- Hooke R. 1665. *Micrographia: or some physilogical descriptions of minutes bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon*. London: J. Martyn and J. Allestry. Disponível em Linda Hall Library <http://lhdigital.lindahall.org/cdm4/document>.

8 Catherine Wilson ressalta que o termo “filósofo natural” também não escapa a certa tensão devido a dois sentidos distintos em que era usado em Oxford no século XVII, um pejorativo, como crítica aos metafísicos, e um neutro, referindo-se a quem se dedicava à filosofia experimental, corpuscular e mecânica (Wilson, 1995, p. 11).

- php?CISOROOT=%2Fnat_hist&CISOPTR=384&REC=0 &CISOBX=113 Acesso em agosto de 2011.
- Iszlaji C e Prestes MEB. 2010. Mitos científicos em trechos históricos de livros didáticos de biologia. III Encontro Nacional de Ensino de Biologia, ENEBIO. IV Encontro Regional de Ensino de Biologia da Regional 05 (Nordeste). V Congreso Iberoamericano de Educación em Ciencias Experimentales. Fortaleza, 10 a 13 de outubro de 2010. Revista de Ensino de Biologia da Associação Brasileira de Ensino de Biologia (SBEnBio): 3: 2848-2856.
- Klein MJ. 1972. The use and abuse of historical teaching in physics. In: Brush SG e King AL. History in the teaching of physics. Proceedings of the International Working Seminar on the Role of the History of Physics in Physics Education. Hanover: University Press of New England 12-18.
- Kragh H. 1987. An introduction to the historiography of science. Cambridge: Cambridge University Press.
- Leite L. 2002. History of science in science education: development and validation of a checklist for analyzing the historical content of science textbooks. Science and Education 11: 333-359.
- Martins LACP. 1998. A história da ciência e o ensino de biologia. Ciência & Ensino 5: 18-21.
- Martins RA. 1990. Sobre o papel da história da ciência no ensino. Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência 9: 3-7.
- Martins RA. 1993. Abordagens, métodos e historiografia da história da ciência. In: Martins, AM (ed.). O tempo e o cotidiano na história. São Paulo: Fundação para o Desenvolvimento da Educação. P. 73-78.
- Martins RA. 2011. Robert Hooke e a pesquisa microscópica dos seres vivos. Filosofia e História da Biologia 6 (1): 105-142.
- Matthews MR. 1991. History, philosophy, and science teaching: selected readings. Toronto/ New York: OISE Press/ Teachers College Press.
- Matthews MR. 1994. Science teaching: The role of history and philosophy of science. New York: Routledge.
- Os cientistas. 1971. A grande aventura da descoberta científica, volume 8, "Hooke - Deformações elásticas". São Paulo, Abril/ Funbec.
- Pagliarini CR e Silva CC. 2007. A estrutura dos mitos científicos em livros de física. Pp. 1-9, in: X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina. Atas do X EPEF. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.
- Prestes MEB e Caldeira AMA. 2009. Introdução: a importância da história da ciência na educação científica. Filosofia e História da Biologia 4: 1-16.
- Prestes M. E. B. (1997). Teoria Celular: de Hooke a Schwann. São Paulo, Scipione.
- Pumfrey S. 1991. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims. British Journal of History of Science 24: 61-78.
- Silva CC, organizadora. 2006. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Vidal PH. 2009. A História da Ciência nos livros didáticos de química do PNLEM/2007. São Paulo. Dissertação (Mestre em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
- Westfall RS. 1970. Robert Hooke. In: Gillispie CC, editor. Dictionary of scientific biography. New York: Charles Scribners Sons. Volume 6, 481-488.
- Whitaker MAB. 1979. History and quasi-history in Physics Education - Part I & II. Physics Education 14: 108-111; 239-242.
- Wilson K. 1997. The invisible world: early modern Philosophy and the invention of the microscope. Princeton: Princeton University Press.