

Obstáculos epistemológicos e sementes conceituais para a aprendizagem sobre adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução

Claudia Sepulveda
Charbel N. El-Hani

RESUMO

Propomos uma interpretação das dificuldades na aprendizagem sobre adaptação, como conceito central no pensamento evolutivo darwinista, desde uma abordagem sociocultural da aprendizagem informada pela filosofia da biologia, mais especificamente, a partir de resultados de um estudo sobre um perfil conceitual de adaptação. São identificados obstáculos epistemológicos à compreensão do conceito darwinista de adaptação que precisam ser negociados e compromissos epistemológicos e ontológicos que podem tornar-se sementes conceituais para a gênese da explicação darwinista da diversidade orgânica. Como um dos resultados desta análise, é proposta uma ferramenta para modelar o modo darwinista de falar sobre adaptação, construída com base na noção de padrão temático de Lemke e na análise da estrutura da explicação seletional por Caponi.

Palavras-chave: Adaptação. Explicação seletional. Narrativa darwinista. Perfil conceitual. Ensino de evolução.

Epistemological obstacles and conceptual seeds for learning about adaptation: An epistemological and sociocultural approach of challenges in evolution teaching

ABSTRACT

We propose an interpretation of difficulties in learning about adaptation, as a central concept in Darwinist evolutionary thought. This interpretation is grounded in a sociocultural approach to learning informed by philosophy of biology, more specifically, based in results from a study about a conceptual profile of adaptation. We identify epistemological obstacles for understanding Darwinist concept of adaptation that should be negotiated and ontological and epistemological commitments that can become conceptual seeds for the genesis of the Darwinist explanation of organic diversity. As one of the results of this analysis, we propose a tool for modeling the Darwinist way of speaking

Claudia Sepulveda é Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências, professora adjunta da Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Educação, Av. Transnordestina, S/N, Novo Horizonte, CEP: 44 036-900, Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: causepulveda@ig.com.br

Charbel N. El-Hani é Doutor em Educação, professor associado da Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Rua Barão do Geremoabo, s/n, Campus de Ondina, Ondina, CEP: 40140-461, Salvador, Bahia, Brasil. E-mail: charbel.elhani@gmail.com

Recebido para publicação em 15/03/2014. Aceito, após revisão, em 13/05/2014.

Acta Scientiae	Canoas	v.16	n.2	p.237-263	maio/ago. 2014
----------------	--------	------	-----	-----------	----------------

about adaptation, grounded in Lemke's notion of thematic pattern and Caponi's analysis of the structure of selective explanation.

Keywords: Adaptation. Selective explanation. Darwinist narrative. Conceptual profile. Evolution teaching.

A compreensão do conceito de adaptação pode ser considerada um dos principais desafios do ensino de evolução pelas seguintes razões: (1) o conceito de adaptação é um elemento central nas explicações darwinistas da mudança evolutiva; (2) ele se encontra no centro de um dos debates mais produtivos na biologia evolutiva, a saber, aquele entre adaptacionistas e exaptacionistas (SEPULVEDA; EL-HANI, 2008; ANDREWS et. al 2002; PIGLIUCCI; KAPLAN, 2000); (3) tende a ser significado de maneira polissêmica, tanto no domínio específico da biologia, como na cultura geral (SEPULVEDA; EL-HANI; MORTIMER, 2014); (4) assume grande importância para a formação intelectual e cultural do cidadão, uma vez que, historicamente, desempenhou um papel fundamental na constituição de uma visão de mundo naturalista (DAWKINS, 1986; MAYR, 1988); (5) tem o poder de explicar fenômenos de grande importância para a humanidade, como a resistência bacteriana a antibióticos e de pragas agrícolas a inseticidas, ou ainda, as dificuldades encontradas no controle de pandemias como a AIDS (MEYER; EL-HANI, 2005), auxiliando os cidadãos a tomarem decisões adequadas, ou, ainda, buscarem influenciar políticas públicas que apresentam consequências diretas para nossa qualidade de vida.

Desde a década de 1980, têm sido constatadas a abrangência e permanência de dificuldades de estudantes de diferentes níveis de ensino na interpretação de fenômenos de mudança adaptativa em termos darwinistas (BRUMBY, 1983; CLOUGH; WOOD-ROBINSON, 1985; BISHOP; ANDERSON, 1990; FERRARI; CHI, 1998). Similarmente, têm sido detectadas dificuldades de compreender o conceito darwinista de adaptação e seu papel nas explicações da origem da diversidade de formas orgânicas (ASH, 2008; SEPULVEDA; EL-HANI, 2012).

Neste artigo, propomos uma interpretação dos desafios do ensino e da aprendizagem do conceito de adaptação, como elemento central do pensamento darwinista, desde uma abordagem sociocultural da aprendizagem informada pela filosofia da biologia, mais especificamente, a partir dos resultados de um estudo sobre um perfil conceitual de adaptação (SEPULVEDA; EL-HANI; MORTIMER, 2014).

A teoria dos perfis conceituais foi proposta por Mortimer (1994, 1995), tendo sido posteriormente incorporada a uma tradição de pesquisa centrada na dimensão sociocultural do ensino e da aprendizagem (MORTIMER, 2000; MORTIMER; AMARAL; SCOTT; EL-HANI, 2014). Ela toma como base a ideia de que as pessoas apresentam diferentes modos de conceber e representar o mundo e, portanto, exibem diferentes modos de pensar, empregados em diferentes contextos. De acordo com esta abordagem, para cada conceito científico que apresente polissemia suficiente¹, é possível construir um modelo de perfil,

¹Outros dois critérios que permitem estabelecer o interesse de construir um modelo de perfil para um conceito consideram a utilidade deste esforço de pesquisa: o conceito deve ser central em alguma(s) ciência(s) e estar presente tanto na linguagem cotidiana quanto na científica.

cujas zonas são individuadas com base nos compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos que fundamentam diferentes perspectivas de significação.

Tendo em vista a centralidade do conceito de adaptação no ensino de evolução e sua polissemia, construímos num estudo anterior um modelo de perfil conceitual de adaptação, com o intuito de empregá-lo como ferramenta teórico-metodológica na investigação de processos de significação das explicações darwinistas para diversidade orgânica ao longo das interações discursivas em sala de aula (SEPULVEDA; 2010; SEPULVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2014a,b).

O presente artigo toma como ponto de partida o papel da epistemologia na construção deste modelo de perfil, mais precisamente, do tratamento epistemológico do conceito de adaptação e da análise da estrutura das explicações biológicas para a origem e diversificação da forma orgânica. Consideramos que este é justamente um dos aspectos em que reside o potencial heurístico do modelo para a compreensão dos processos de significação do conceito darwinista de adaptação em situações de ensino e aprendizagem. Este exemplo aponta, assim, para a importância da epistemologia para a pesquisa em ensino de ciências.

Serão identificados alguns obstáculos epistemológicos que precisam ser negociados no desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação em sala de aula, assim como caminhos para promover esta negociação, ao converter certos compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam formas de pensar este conceito em instrumentos de pensamento ou sementes conceituais para a gênese da perspectiva darwinista de explicação da diversidade orgânica.

Por fim, apresentaremos um diagrama temático (LEMKE, 1999) da explicação darwinista escolar para a mudança adaptativa, proposto como ferramenta para modelar o desenvolvimento do modo darwinista de falar sobre adaptação em situações de ensino e aprendizagem.

PERFIL DE ADAPTAÇÃO E O PAPEL DA EPISTEMOLOGIA EM SUA CONSTRUÇÃO

Para a constituição das zonas de um modelo de perfil conceitual, tem sido considerada a diversidade de significados atribuídos a um conceito em uma variedade de contextos de produção, de modo a abarcar pelo menos três dos quatro domínios genéticos que, segundo Wertsch (1985), foram abordados por Vigotski em suas investigações acerca da formação de conceitos: os domínios sociocultural, ontogenético e microgenético. Da perspectiva vigostkiana, para compreender o desenvolvimento cognitivo humano, deve-se examinar a influência exercida pela história da cultura em que o sujeito está inserido. Esta influência constituiria o domínio sociocultural. O domínio ontogenético, por sua vez, se refere à história do desenvolvimento cognitivo de um membro individual da espécie humana. A microgênese, por fim, diz respeito à história de um determinado fenômeno psicológico, em geral de curto termo, podendo referir-se a eventos de transição genética ou de desdobramento de um ato perceptual e conceitual individual.

No caso de nosso estudo sobre o perfil conceitual de adaptação, baseamo-nos nas seguintes fontes de informação: (1) fontes secundárias sobre a história da biologia e tratamentos epistemológicos do conceito; (2) literatura sobre concepções de alunos acerca dos conceitos de adaptação e seleção natural; (3) dados empíricos coletados através de entrevistas e questionários com alunos do ensino médio e do ensino superior de ciências biológicas; (4) e dados de interações discursivas em sala de aula.

O exame do conjunto de informações relativas à produção de significados nestes domínios é realizado de maneira dialógica, no sentido de que os conteúdos encontrados em cada domínio são todo o tempo articulados com os demais, de modo que possam ser identificados compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam e individualizam modos de pensar. Estes modos de pensar correspondem às zonas que constituem o modelo de perfil em construção.

Por meio desta metodologia, foi possível construir um modelo de perfil conceitual de adaptação composto por quatro zonas: funcionalismo intraorgânico, ajuste providencial, perspectiva transformacional, perspectiva variacional. A seguir, faremos uma breve caracterização de cada uma destas zonas, procurando destacar exemplos de como a individuação das mesmas foi apoiada pelas contribuições de estudos epistemológicos do conceito de adaptação e da estrutura das explicações funcionais e evolutivas das formas orgânicas.

Funcionalismo intraorgânico

Nesta zona, encontram-se interpretações dos traços adaptativos nas quais estes não são concebidos como atributos dos organismos que demandam explicações evolutivas. A existência de traços adaptativos é explicada, neste caso, preferencial ou exclusivamente pelo apelo a causas próximas, particularmente a processos fisiológicos e biomecânicos, tidos como suficientes para explicar a organização da estrutura orgânica. É dada ênfase à descrição dos atributos funcionais dos traços adaptativos, não no que se refere à seleção natural, mas no que diz respeito ao papel que exercem na manutenção do sistema orgânico no tempo presente.

Um exemplo deste modo de pensar pode ser visto na seguinte explicação para a diversificação morfológica da mandíbula em mamíferos, dada por um estudante do ensino médio numa das entrevistas realizadas no estudo:

A organização é diferente. (...) E cada um [referio-se ao tipo de dente] tem uma ação diferente. O canino segura a presa e tritura, o daqui [aponta molares] tem a função de transformar o alimento em pasta para facilitar a digestão. Aqui, o do gato, mesmo, tem menos dente que o homem, o homem tem mais...O cavalo mesmo, o cavalo, se eu não me engano, são só estes daqui [aponta para figura dos dentes molares].

A variação na morfologia e no número de dentes que compõem a arcada de diferentes grupos de mamíferos é explicada pela função que cada um dos dentes exerce no processo de mastigação, como capacidade exibida por toda a arcada dentária. O sentido dado à função neste enunciado diz respeito, pois, ao papel que uma estrutura apresenta na realização de uma capacidade do sistema que a contém.

De um modo geral, o problema darwinista da adaptação sequer é reconhecido pela forma de pensar representada nesta zona. Diante de atributos hoje considerados exemplos típicos de adaptação, como é o caso da coloração e formato camuflados dos insetos, alguns estudantes investigados não os interpretavam como casos de adequação da forma às exigências ambientais ou como estratégias de sobrevivência. Ao contrário, o interesse por vezes chegava a voltar-se para outras estruturas dos animais, consideradas mais conspícuas do que a cor e forma miméticas, na medida em que estas não eram consideradas de maneira alguma dignas de atenção, sendo tratadas como mera consequências fisiológicas de hábitos alimentares.

A análise epistemológica de Caponi (2006) sobre as visões de naturalistas anteriores a Darwin, a exemplo de Cuvier, teve papel importante na individuação e significação desta zona. Estes naturalistas explicavam a forma orgânica priorizando a função que cada parte desempenhava na manutenção da harmonia e organização interna do organismo (teleologia intraorgânica), em lugar de focar a adequação das estruturas orgânicas às exigências das condições ambientais. Caponi argumenta que a noção de correlação entre estrutura orgânica e exigências postas pelo entorno ecológico, sobretudo os desafios e oportunidades oferecidos por outros seres vivos, historicamente pode ser considerada uma criação darwinista. Alguns fenômenos adaptativos que nos parecem óbvios, tais como, a conveniência de certos padrões de coloração para fins de camuflagem ou mimetismo, por exemplo, eram considerados pelos naturalistas pré-darwinianos como detalhes morfológicos e fisiológicos secundários, e só passaram a ter existência como fenômenos dignos de explicação a partir da lente darwinista, mais especificamente, sob a perspectiva que Alfred Wallace designou “princípio de utilidade” (CAPONI, 2006, p.24). Isso nos mostra que a visão utilitária das estruturas, a interpretação de que as estruturas biológicas que observamos hoje apresentam ou apresentaram alguma utilidade para os organismos em sua luta pela sobrevivência, não é o único caminho, nem o mais óbvio, para se interpretar a forma orgânica.

Para a individualização e caracterização desta zona, foram fundamentais as seguintes contribuições de estudos epistemológicos e históricos das explicações da forma orgânica: (1) a interpretação de Caponi (2006) acerca do funcionalismo de Cuvier e de outros naturalistas pré-darwinistas; (2) a distinção entre causas próximas e causas últimas, aplicada à compreensão dos fenômenos biológicos, proposta por Mayr (1988); e (3) a análise da estrutura das explicações funcionais e selecionistas realizada por Caponi (2002).

Ajuste providencial

A segunda zona do perfil é constituída por interpretações em que a adaptação é concebida, em termos ontológicos, como um estado de ser ou propriedade dos organismos,

ou de suas estruturas morfológicas, de se encontrarem ajustados às suas condições de vida. Em termos causais, este ajuste é explicado apelando-se ao princípio da economia natural e a uma perspectiva teleológica de organização da forma orgânica. A adaptação é explicada como um fenômeno decorrente da harmonia necessária entre estrutura organizacional do organismo e as condições ambientais.

Apresentamos em seguida um enunciado produzido por um estudante do ensino superior, em resposta a questionário, para o mesmo fenômeno comentado acima, a diversificação da mandíbula nos vertebrados, em que estes compromissos são expressos:

Os carnívoros têm em sua boca dentes adaptados a extrair a carne de sua presa, os herbívoros, a arrancar as plantas do solo (ou das árvores), enquanto que os onívoros são adaptados às duas ações. Assim as diferentes formas encontradas nos organismos são adaptações ligadas à necessidade de alimentar-se.

De modo diferente da zona anterior, aqui já encontramos o interesse pelas possíveis relações entre as estruturas morfológicas dos organismos e suas condições de vida. Descrições do funcionamento dos caninos ao rasgar a carne são acompanhadas de referências acerca da eficiência na captura de presas.

Como podemos ver, as interpretações da adaptação situadas em ambas as zonas, funcionalismo intraorgânico e ajuste providencial, fazem uso de atribuições funcionais para explicar a forma orgânica. A distinção entre estes dois modos de pensar se torna clara a partir, mais uma vez, da contribuição da filosofia da biologia.

Tem sido reconhecida pela filosofia da biologia, a existência de diferentes abordagens epistemológicas da função, como a etiológica, a sistêmica e a organizacional (HULL, 2002; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011; NUNES-NETO; MORENO; EL-HANI, 2014). Aqui nos interessa, em particular, a distinção entre abordagens etiológicas e sistêmicas. Segundo a abordagem etiológica, atribuir função é explicar a existência de um item orgânico (estrutura morfológica, mecanismo, processo etc.) que é caracterizado funcionalmente, é explicar o porquê de o traço funcional estar presente. Análises funcionais desta natureza, quando empregadas no âmbito da biologia evolutiva, evocam a seleção natural para dar conta de tais explicações. Esta abordagem pode ser exemplificada pela teoria das funções do filósofo Larry Wright ([1973]1998). A atribuição funcional sistêmica, por seu turno, apresenta outro tipo de objetivo explanatório, o de explicar as capacidades de um sistema, apelando às funções desempenhadas pelos componentes nele contidos. Desta perspectiva, atribuir função a um item é descrever sua capacidade, a qual é identificada pelo papel que desempenha em uma análise de alguma capacidade do sistema que o contém. A teoria da análise funcional proposta por Cummins ([1975]1998) é representativa desta segunda perspectiva de conceber as explicações funcionais.

As atribuições funcionais próprias do funcionalismo intraorgânico são sistêmicas. As atribuições funcionais da zona do ajuste funcional têm um caráter etiológico. É a função da característica que explica a sua existência. Na explicação da diversidade morfológica das mandíbulas dos mamíferos por um estudante de licenciatura em ciências biológicas, explica-se à existência de cada tipo de dentição pela função que realizam: Os caninos estão presentes na arcada dentária dos carnívoros porque realizam a função de rasgar a carne.

De acordo com a dieta de cada animal, se faz necessário um modelo de mordida diferente, por exemplo, um animal carnívoro necessita de dentição própria para rasgar a carne (canino) havendo então uma adaptação na mandíbula destes seres para facilitar a digestão deste alimento.

Esta atribuição de função, ainda que tenha um caráter etiológico, não se aproxima de uma explicação evolutiva darwinista, ou sequer evolutiva, já que a existência da estrutura não é atribuída a um processo evolutivo, a exemplo da seleção de variantes fenotípicas mais eficientes no desempenho da função, mas sim, à realização de uma finalidade. Trata-se de uma atribuição funcional etiológica não selecionista.

Perspectiva transformacional

A principal diferença entre esta zona do perfil e a zona anterior é a introdução de uma perspectiva histórica ou evolutiva na explicação da diversidade das formas orgânicas. A adaptação não é interpretada como um estado de ser, mas como um processo de transformação da essência da espécie em direção a um estado ótimo de ajuste às condições ambientais. Este processo se dá através de mudanças simultâneas que ocorrem em cada um e em todos os membros individuais da espécie (LEWONTIN 1985; CAPONI, 2005). Ou seja, as mudanças evolutivas (filogenéticas) são entendidas como o resultado do acúmulo de mudanças ontogenéticas.

A explicação de uma estudante do segundo semestre de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas para a diversificação dos bicos dos tentilhões das Galápagos, em resposta a questionário, ilustra esta forma de pensar:

Por diferenciação morfológica, acúmulo lento de características propícias para manter a sua sobrevivência, da espécie, que normalmente é transmitida os seus descendentes, é o que chamamos de evolução. (...) os indivíduos estão em constante competição por fêmeas, alimentos, etc. Os que não se adaptam precisam buscar uma nova forma para se desenvolver, ou seja, ocorrem mudanças muito lentas que são cumulativas e por enquanto que não resultam em indivíduos completamente adaptados muitos morrem, porém quando a modificação se dá por completo, a exemplo da modificação morfológica do bico possibilitando se alimentarem de outros recursos.

Um aspecto característico desta zona reside na ideia de que a transformação sofrida pelos organismos apresenta uma direção definida, isto é, todos os membros da espécie passam por mudanças orientadas numa mesma direção, por meio das quais atinge-se um estado teleológico de ajuste ótimo às condições ambientais.

Ainda que essas interpretações transformacionais sejam de caráter evolutivo, elas ainda retêm um cerne de pensamento essencialista. Sintomaticamente, a variação não é um aspecto central nesta perspectiva. Caso uma pessoa tenha acolhido a ideia de mudança evolutiva, mas esteja comprometida com um pensamento essencialista, ela provavelmente endossará perspectivas transformacionais.

Consideramos que o pensamento essencialista, o foco no organismo individual e o apego às causas próximas são compromissos ontológicos e epistemológicos deste modo de pensar que impõem dificuldades para o desenvolvimento de uma perspectiva variacional de interpretação do conceito de adaptação, que constitui a próxima zona do modelo de perfil conceitual que construímos.

A identificação de tais compromissos, que estabilizam esta forma de pensar transformista, e a individualização desta zona em relação às demais foram apoiadas pelas análises de Mayr (1988; 2005) e de Caponi (2005) a respeito das rupturas epistemológicas promovidas pelo pensamento darwinista em relação à biologia precedente.

Segundo Mayr (2005) a quase universal aceitação do pensamento essencialista introduzido por Platão na filosofia consistiu um dos principais fatores para a hostilidade à teoria darwinista por filósofos e biólogos de sua época, uma vez que as variações na população eram vistas como degenerações do tipo ou meros acidentes. A introdução do pensamento populacional por Darwin – a visão de que não há dois indivíduos que sejam de fato idênticos numa biopopulação e que é esta variação que tem realidade – constitui para Mayr (1988) um passo revolucionário e fundamental para pensamento biológico.

Caponi (2005) concorda com Mayr no que diz respeito à importância do pensamento populacional, considerando-o “a própria condição de possibilidade” da biologia evolutiva (CAPONI, 2005, p.236). No entanto, Caponi considera que o verdadeiro eixo de ruptura entre o darwinismo e a biologia precedente não passa pela oposição entre pensamento populacional e pensamento essencialista, mas sim pela oposição entre o pensamento populacional e a perspectiva fisiológica que dominava a interpretação do fenômeno vida desde Aristóteles, passando por Lamarck, Geoffroy Saint-Hilaire. De acordo com a interpretação deste autor, o apego à fisiologia fazia com que os proponentes das diversas teorias transformacionais vissem como foco privilegiado da investigação e registro dos fenômenos biológicos, o organismo individual, e buscassem como causas que explicassem as mudanças evolutivas apenas forças e fatores que fossem atuantes e observáveis no organismo individual, fatores estes visíveis aos fisiologistas.

Perspectiva variacional

Esta zona é constituída por interpretações da adaptação como o resultado de um processo de propagação seletiva e fixação de variantes numa população em determinado regime seletivo. Ou seja, ela diz respeito, mais especificamente, ao modo darwinista de pensar a evolução das adaptações. A explicação dada por um estudante de licenciatura em ciências biológicas para a resistência bacteriana a antibióticos, em resposta a questionário, ilustra esta perspectiva:

Existem bactérias em um meio de cultura, por exemplo. Elas são seres muito pequenos que se reproduzem com facilidade. O grande número de replicações pode gerar a ocorrência de mutações em algumas bactérias, que por acaso apresentam resistência a um determinado antibiótico. Se este medicamento for lançado no meio, tais bactérias “resistentes” seriam selecionadas, pois não morreriam (diferente das outras), e continuariam se reproduzindo, originando uma nova linhagem.

Para entender as operações epistemológicas necessárias à gênese da perspectiva variacional e à estabilização do significado do conceito darwinista de adaptação, foram fundamentais duas contribuições da filosofia da biologia: (1) a análise a respeito das diferenças entre explicações evolutivas transformacionais e variacionais feita por Lewontin (1985) e discutida por Sober (1993) e Caponi (2005); e (2) a análise da estrutura da explicação seletional desenvolvida por autores como Caponi (2002).

Nas explicações transformacionais, como vimos acima, a evolução de uma espécie é entendida como o resultado de transformações ocorridas em seus componentes individuais, ou seja, a mudança evolutiva é explicada por meio das transformações pelas quais cada indivíduo da espécie passa. Nas perspectivas variacionais, por sua vez, as mudanças de uma espécie são explicadas como uma consequência de mudanças nas proporções dos componentes de suas populações. Ou seja, a evolução biológica é concebida como o resultado das mudanças na proporção de organismos variantes nas populações. Organismos bem sucedidos em uma geração tendem a originar, através da reprodução, organismos com os mesmos traços fenotípicos variantes que os progenitores apresentam. Assim, enquanto a população muda de geração a geração, a herança exerce o papel de preservar a invariância nos traços manifestos nos organismos. Entre as variantes encontradas nas populações, as mais importantes para as explicações variacionais são aquelas que aumentam a probabilidade de que seus portadores tenham sucesso na obtenção de recursos nas condições ambientais em que vivem e, conseqüentemente, de que tenham maior sucesso reprodutivo.

Chegamos a dois aspectos distintivos da perspectiva variacional de interpretação da adaptação: (1) a compreensão de uma tensão construtiva (em termos da explicação do processo evolutivo) entre mudança no nível da população e invariância no nível do organismo individual; e (2) o reconhecimento de que há na população variantes fenotípicas com maior ou menor eficiência quanto ao aumento das chances de sobrevivência e reprodução de seus portadores.

Este segundo aspecto é bastante enfatizado na análise de Caponi (2002) acerca da estrutura da explicação seletional. O fato de uma característica ter um efeito benéfico para o organismo não é suficiente para explicar sua origem adaptativa. Como argumenta Caponi, é preciso que este efeito benéfico tenha sido responsável pela permanência desta característica na população, em lugar de alternativas viáveis em termos físicos, químicos, morfológicos e fisiológicos.

Portanto, além do caráter etiológico, a explicação seletional tem como aspecto distintivo o fato de ser uma explicação de uma diferença. Nas explicações funcionais de um traço adaptativo próprias do funcionalismo intraorgânico, o que está em questão é como uma estrutura ou um comportamento funciona ou atua de modo assegurar alguma capacidade do sistema a que pertence. No caso da explicação seletional, trata-se de explicar por que esta estrutura ou comportamento desempenha uma função **melhor** do que alternativas viáveis, ou sob que pressões seletivas esta estrutura pode resultar em uma forma melhor que uma alternativa igualmente viável do ponto de vista morfológico, fisiológico ou filogenético (CAPONI, 2002).

Este argumento guarda relação com a discussão por Depew (2013) de que o significado mais central da seleção natural no darwinismo não é o da seleção como uma força eliminativa, tal como expresso na expressão spenceriana da “sobrevivência do mais apto”, incorporada por Darwin em edições posteriores de *Origem* em resposta a demandas de Wallace, Huxley e do próprio Spencer. Embora esta seja ainda a noção mais persistente de seleção natural em nossa cultura, a teoria darwinista trata do aumento gradual de frequência de traços ligeiramente variantes, mas vantajosos, como processo que dá origem a adaptações que estão conectadas à seleção como efeitos às suas causas. A seleção, desta perspectiva, é uma força criativa, em contraste com a versão (ou, como Depew prefere, “distorção”) spenceriana da seleção como sobrevivência do mais apto, na qual esta é uma força eliminativa que discrimina organismos inteiros, e não seus traços ligeiramente variantes, e as adaptações nada mais são que acidentes preservados.

Encontramos nesta zona, portanto, muitos dos compromissos epistemológicos das explicações darwinistas, como a perspectiva etiológica de explicação das adaptações, o pensamento populacional e a ideia de que estruturas orgânicas apresentam um papel central na sobrevivência e reprodução dos organismos diante das condições de existência encontradas em seu entorno ecológico, este último sempre em mudança.

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E SEMENTES CONCEITUAIS NA GÊNESE DO CONCEITO DARWINISTA DE ADAPTAÇÃO

Como se pode concluir a partir da caracterização das quatro zonas deste modelo de perfil conceitual de adaptação, a despeito de as zonas serem individualizadas através de um conjunto determinado de compromissos ontológicos e epistemológicos, há também um compartilhamento de compromissos entre elas. Este compartilhamento é coerente

com o caráter dinâmico dos perfis conceituais, que, além de modelar a heterogeneidade do pensamento verbal, pretende também modelar os processos de gênese destes modos de pensar sobre um conceito em determinados contextos sociais de produção de conhecimento.

Tanto as fontes de informações que levaram à identificação inicial das zonas do perfil, quanto os dados advindos da análise de interações discursivas em sala de aula, usados para testar o modelo de perfil proposto e aprimorar a caracterização enunciativa das zonas (SEPULVEDA, 2010), nos permitiram identificar certas vias de desenvolvimento do conceito em contextos de ensino e aprendizagem de evolução. Este desenvolvimento pode ser descrito como um processo de negociação de compromissos epistemológicos e ontológicos que estabilizam as formas de pensar representadas pelas zonas do perfil. Ao longo deste processo, aspectos relativos a certos compromissos epistemológicos e ontológicos próprios das zonas geneticamente anteriores à perspectiva variacional se colocam, por um lado, como dificuldades a serem superadas pelos alunos para a apropriação da perspectiva da ciência escolar. Por outro lado, estes mesmos compromissos podem encerrar aspectos heurísticos que servem de sementes conceituais, instrumentos de pensamento para os alunos se aproximarem gradualmente do modo darwinista escolar de pensar e falar sobre o fenômeno da mudança adaptativa.

Por exemplo, a ênfase na relação funcional entre estrutura orgânica e condições de vida, um dos compromissos ontológicos da zona do ajuste providencial, constitui um obstáculo epistemológico para a apropriação da perspectiva darwinista, quando é vista como explicação suficiente para a existência de traços adaptativos, amparada pelo princípio da economia natural e por uma perspectiva teleológica de organização da forma orgânica. Contudo, este compromisso pode ser uma semente conceitual para a formulação do problema darwinista da adaptação – ou seja, de como explicar o aparente ajuste funcional da estrutura orgânica às exigências impostas pela luta pela sobrevivência –, uma vez que pode constituir o primeiro passo para que o ajuste da estrutura orgânica seja contemplado como um fenômeno digno de investigação e explicação.

A seguir, analisaremos desafios no ensino da teoria da evolução por seleção natural e caminhos para enfrentá-los, com base nesta perspectiva de compreensão da gênese do conceito de adaptação como uma negociação de compromissos ontológicos e epistemológicos que ora se colocam como obstáculos, ora se colocam como instrumentos de pensamento ou sementes conceituais para a compreensão da perspectiva darwinista.

Construção do problema darwinista da adaptação: a importância da noção de *design*

Alguns dos compromissos epistemológicos próprios da zona do funcionalismo intraorgânico impõem um primeiro obstáculo à gênese do conceito darwinista de adaptação. O foco no organismo individual como fenômeno biológico a ser investigado e o compromisso com o princípio da economia natural dificultam a compreensão das perguntas que Darwin buscou responder com o conceito de adaptação por seleção natural: Como

explicar a correlação funcional existente entre forma orgânica e condições ambientais? Como os seres vivos conseguem conquistar ou defender seu lugar na natureza, sempre em transformação? Que recursos ou estratégias possibilitam que cada ser vivo preserve seu lugar em um mundo cujas exigências se alteram a cada momento? (CAPONI, 2006).

Como já comentamos, os dados empíricos de entrevistas e interações discursivas em sala de aula apontam que alguns estudantes do ensino médio sequer consideram características adaptativas, a exemplo da cor e forma camufladas de insetos, como fenômenos instigantes, que mereçam explicações. Estes dados sugerem que a relação entre organização estrutural e condições de vida não é percebida de modo trivial e, portanto, pode ser necessário que esta percepção seja construída.

Propomos que a ênfase na relação funcional entre estrutura e condições de vida, um dos componentes do problema do *design*, e um dos compromissos ontológicos da zona do ajuste providencial, quando negociado nas interações discursivas em sala de aula, pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento da compreensão darwinista do conceito de adaptação. A construção do problema do *design* pode ser uma estratégia discursiva produtiva, especialmente em situações em que os estudantes sequer se interessam pela adaptação como um fenômeno instigante, a ser explicado.

Tem sido proposto por filósofos e biólogos evolutivos que, em sua construção por Darwin, a teoria da seleção natural foi fundada na premissa do *design*, herdada da teologia natural de Paley (AMUNDSON, 1996; GODFREY-SMITH, 1999; RUSE, 2002; AYALA, 2009). Darwin teria aceitado o problema do *design* nos termos da teologia natural. O ponto distintivo, no entanto, reside na natureza da resposta darwinista a este problema.

De acordo com Ruse (2002), ao contrário da seleção natural, que teve de esperar um longo período para que fosse aceita como um mecanismo adequado e satisfatório, a premissa do *design* foi amplamente compartilhada entre os evolucionistas. Assim, foi sendo gradualmente aceito que o *design* aparente do mundo orgânico era uma consequência do mecanismo darwinista da seleção natural (e não de alguma agência sobrenatural ou inteligente), sendo esta uma noção que tem permanecido central para a biologia evolutiva até os dias de hoje (CAPONI, 2003). Portanto, de uma perspectiva histórico-epistemológica, pode-se considerar que um dos primeiros passos para o desenvolvimento do conceito darwinista de adaptação foi a construção do problema do *design*, interpretado como o problema de explicar como estruturas ou padrões de comportamento foram moldados de modo a se constituírem em soluções para os problemas impostos pelo ambiente aos organismos.

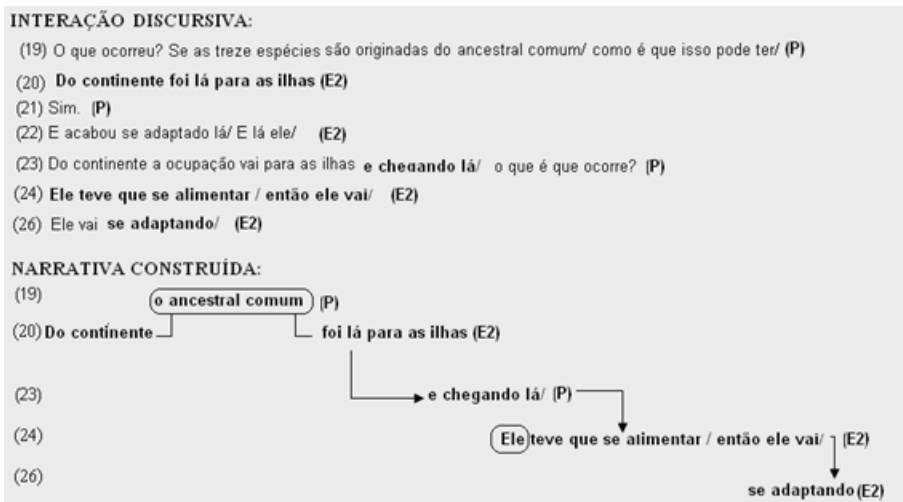
É preciso reconhecer, no entanto, como nos chama a atenção Burian (2005), que o conceito de adaptação relativa de Darwin demanda não apenas o reconhecimento e a investigação da adequação do *design* a um problema particular, como também a investigação do processo pelo qual este *design* foi produzido. A noção de que há uma relação entre forma e função, própria do modo de pensar da zona do ajuste providencial, é uma semente para o desenvolvimento apenas do primeiro requisito apontado por Burian. Uma das vias para o desenvolvimento do segundo requisito pode ser a construção de

narrativas pelos estudantes para explicar processos de mudança adaptativa e diversificação da forma orgânica, como veremos a seguir.

Construção de uma perspectiva histórica para explicar adaptação: a importância das narrativas

O modelo de perfil conceitual de adaptação apresentado na seção anterior foi aplicado à análise de discurso de episódios de ensino de evolução, na forma de interações discursivas produzidas em aulas sobre a explicação darwinista para a origem da diversidade orgânica (SEPULVEDA, 2010). Ao longo de algum destes episódios de ensino, a construção de narrativas, em que uma sequência de eventos levava à mudança da forma orgânica, se apresentou como um caminho para que a adaptação deixasse de ser significada como uma propriedade fixa, ou um estado de ser dos organismos de se encontrar ajustados às condições de vida – uma forma de pensar própria da zona do ajuste providencial –, e passasse a ser interpretada como um processo evolutivo e, posteriormente, como um resultado deste processo.

FIGURA 1 – Narrativa para explicar a origem da diversidade de tentilhões das Galápagos produzida em interações discursivas em sala de aula. Os números entre parênteses à esquerda indicam os turnos de fala, as letras entre parênteses do lado direito indicam a autoria do enunciado. A letra “P” é usada para sinalizar turnos de fala da professora, e a letra “E” indica turnos de estudantes. Os eventos que compõem a narrativa estão destacados em negrito. Em seguida, apresenta-se uma reconstrução da narrativa resultante da interação discursiva. As setas indicam a ordem em que os eventos ocorrem e o agente da narrativa encontra-se circulado.



Fonte: Sepulveda, 2010, p.235.

Inicialmente, estas narrativas foram produzidas a partir de um modo de falar característico das perspectivas transformacionais. Na Figura 1, apresentamos as interações

discursivas em que alunos e professora constroem uma narrativa desta natureza para explicar a diversificação dos bicos dos tentilhões das Galápagos.

Estas primeiras narrativas construídas pelos estudantes têm como característica o fato de os organismos exercerem o papel de protagonistas de um processo de transformação, que leva à adequação de suas estruturas morfológicas a novas condições ambientais. É compreensível que, em um primeiro momento, seja mais intuitivo e inteligível para os estudantes que a narrativa de uma mudança adaptativa apresente um protagonista claro, que assuma o papel de agente. Organismos individuais preenchem mais facilmente os requisitos para exercerem tal papel. Nestas narrativas, o termo ‘adaptação’ significa um fenômeno que explica, por si só, a diversificação da forma orgânica, ou seja, a adaptação é tomada como um princípio autoexplicativo.

Ao longo da sequência didática analisada, no entanto, estratégias enunciativas da professora levaram a um deslocamento do agente das narrativas construídas pelos estudantes. Ao propor-lhes desafios e fornecer-lhes apoios na elaboração de narrativas, a professora procurou deslocar o papel de agente para as populações de organismos. A Figura 2 mostra este movimento discursivo.

Em um episódio posterior, a professora deslocou o papel de agente para os fatores ambientais, introduzindo um modo de falar próprio de uma perspectiva variacional e externalista de interpretação do processo evolutivo, segundo a qual é atribuído ao ambiente – no caso, o tipo de alimento disponível – o papel de selecionar variantes na população, controlando o processo evolutivo.

Professora: A gente tem dados que são os seguintes/ o formato do bico é uma característica herdada. O que é que a gente tem? A gente tem numa população algumas variações. A gente leu aqui o texto/ numa determinada população de tentilhões vai existir uma variedade ali/ de tamanhos de bicos. Então o que acontece? A depender do ambiente que aquela população esteja/ **o tipo de alimento vai fazer o que? Vai selecionar?** ((gesto com a mão, trazendo algo para si))²

Estudante 1: As espécies.

Professora: Os organismos/ né?!/ as espécies/ que tem? ((gesto indicando a posse de bico)) que vai ter condições de se alimentar daquele tipo. Então/ com o passar do tempo/ essa população ela vai modificando/(...)

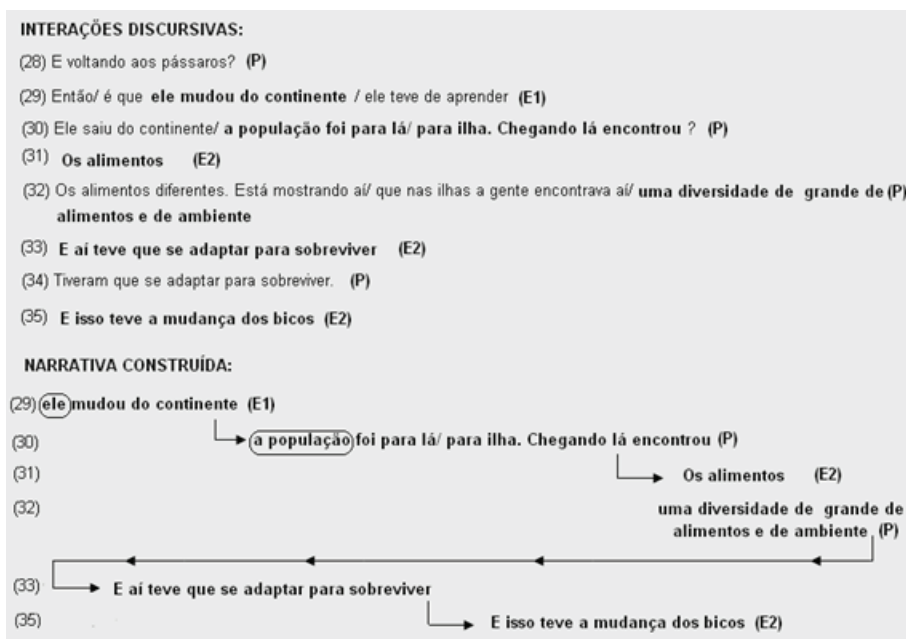
E finalmente a professora, de modo não interativo, enunciou narrativas em que não havia agentes claros, mas uma cadeia de eventos que levavam à mudança evolutiva de populações de organismos.

² Utilizamos alguns sinais na transcrição: o sinal de interrogação quando da entonação clara em formato de pergunta; a barra é utilizada para sinalizar pausas curtas no meio das falas ou interrupções pela fala de outras pessoas, quando esta aparece no final da frase; pausas mais longas são representadas pelo sinal (+). Os comentários dos pesquisadores estão entre parênteses duplos (()).

Professora: A forma dos bicos/ não esquecendo que é uma característica hereditária/ se as condições continuarem as mesmas vai acontecer o que? Aumento da frequência dos indivíduos com bicos maiores ao longo das gerações/ Então/ se ao longo das gerações/ se aquela condição ambiental que tinha continuar a mesma/ a gente vai ter um aumento de frequência desses indivíduos com bicos maiores naquelas condições. Se a gente muda aquilo ali/ aquelas condições pode ocorrer o que? Pode ocorrer uma mudança na população. E aí a gente chega na Teoria da seleção natural.

A importância da produção de narrativas no desenvolvimento da forma de pensar e do modo de falar sobre adaptação ao longo da sequência didática pode ser evidenciada através da análise das etapas de elaboração conceitual vivenciadas por um dos estudantes (estudante 2).

FIGURA 2 – Narrativa transformacional para a diversificação dos bicos dos tentilhões produzida em interações discursivas em sala de aula. Foi utilizada a mesma formatação da Figura 1.



Fonte: Sepulveda, 2010, p.237.

Na primeira aula, o estudante 2 explicou a diversidade orgânica a partir de uma perspectiva de ajuste providencial: a ideia de que cada espécie precisa da outra para viver, dentro de uma ordem estável e harmônica do mundo natural. Na segunda aula, o estudante 2 se engajou em um processo de construção de narrativas, em interações com a estudante 1 e com a professora, para explicar a diversificação dos bicos dos tentilhões das

Galápagos. Estas narrativas tinham, inicialmente, o organismo como um agente claro da mudança evolutiva (ver Figura 1). Este papel de agente, logo em seguida, foi deslocado para a população de organismos, a partir de mediações da professora. Outra distinção importante é a de que, nestas novas versões da narrativa, a população de organismos protagonizava apenas a ação de tentar mobilizar os recursos alimentares disponíveis, em decorrência da nova condição ambiental à qual estava submetida. No entanto, a população não é claramente apontada como agente da mudança morfológica do bico. Esta mudança é apresentada como um evento que ocorre sem um agente claro que o protagoniza: *E isso vem as modificações do bico* (ver Figura 2).

Na sétima e última aula da sequência didática, este estudante desenvolveu a seguinte narrativa variacional para explicar a resistência de pragas agrícolas a inseticidas:

O besourinho vermelho é mais forte/ foi dada a primeira aplicação do inseticida/ então morreu quase a população toda do/ dos verdes/ (...) Então ele vai fazer um negócio/ ele vai se entrosar com esse/ vai conversar direitinho (risos)/ e vai conseguir ter filhotes. E esses filhotes podem nascer verde ou vermelho/ ((risos)) (...) Então/ no que nasceu filho verde/ morreu de novo. (...) Resisti o que nasceu vermelho. (...) E começou/ aí agora/ vermelho com vermelho/ e de novo vermelho com vermelho/ nasceu mais vermelho/ e tá aqui hoje.

Os personagens da narrativa foram besouros verdes, besouros vermelhos e seus filhotes. Ao longo da narrativa, estes personagens tanto protagonizavam como sofriam ações. As ações deliberadas dos besouros eram referentes ao acasalamento e à reprodução. Os besouros não protagonizaram nenhuma ação que levasse à mudança de seu fenótipo ou da distribuição de fenótipos da população. Nesta narrativa, a população tampouco era agente de ações, mas, ao contrário, sofria a mudança evolutiva, neste caso, uma mudança na frequência das variantes nela existentes. Em um primeiro momento, a população era composta de besouros verdes e vermelhos em proporções semelhantes, enquanto, ao final do processo evolutivo, passou a ser composta predominantemente por besouros vermelhos, devido à seleção pelo inseticida ao qual eram resistentes.

Como vimos acima, o uso da narrativa foi fundamental ao longo de todo o processo de desenvolvimento de uma perspectiva darwinista de interpretação da adaptação por esse estudante. Foi empregando o pensamento narrativo e fazendo uso inicialmente de uma linguagem teleológica e antropomórfica que o estudante 2 gradualmente atribuiu sentido ao discurso da ciência escolar, até que conseguiu se apropriar do significado de alguns componentes fundamentais da explicação darwinista.

Compreensão da natureza causal da explicação seletional

Um dos desafios para a construção de uma explicação variacional para a mudança adaptativa a partir de narrativas transformacionais é promover a compreensão da natureza

causal do mecanismo da seleção natural. Identificamos quatro temas que precisam ser tratados para que se possa alcançar este objetivo: (1) a distinção entre os mecanismos transformacional e variacional de mudança populacional; (2) a natureza do objetivo explanatório da explicação seletional e a impossibilidade de formulá-lo e respondê-lo em termos físicos; (3) o papel do ambiente; e (4) o papel das mutações no processo evolutivo.

Como já analisamos na descrição dos compromissos que individualizam as perspectivas variacionais em relação às transformacionais, um dos obstáculos à gênese do conceito darwinista de adaptação é a incompreensão de como um mecanismo variacional opera na mudança adaptativa de uma população. Neste caso, distintamente de um mecanismo transformacional, a mudança que ocorre no sistema como um todo, a população, não resulta da soma das mudanças ocorridas em todos os componentes, os organismos, mas sim da mudança na proporção destes componentes. A frequência de organismos que portam variantes fenotípicas vantajosas aumenta em relação à frequência de organismos que portam variantes fenotípicas alternativas para o mesmo caráter.

Um dos obstáculos mais persistentes à compreensão da natureza variacional do mecanismo da seleção natural é o compromisso com uma visão essencialista da espécie, o qual impede que o estudante reconheça que há variantes fenotípicas nas populações de uma espécie e, além disso, que estas podem resultar em maior ou menor eficiência de obtenção de recursos pelos organismos, afetando suas chances de sobrevivência e reprodução. A persistência desta visão foi observada na trajetória de aprendizagem de um aluno na sequência de ensino de evolução que investigamos à luz do perfil conceitual (SEPULVEDA, 2010). Depois de participar de duas aulas em que a perspectiva variacional foi desenvolvida, por meio da discussão de dados empíricos gerados por um jogo que simula a mudança adaptativa de uma população fictícia de aves (VARGENS; EL-HANI, 2011), este estudante questionou a narrativa variacional desenvolvida na interação entre professora e alunos para explicar a mudança adaptativa de uma população de aves submetida a um regime seletivo de escassez de uma variedade de sementes:

1. **Estudante 3:** Ô professora?
2. **Professora:** Diga?
3. **Estudante 3:** É/ Digamos assim. A espécie vivia em um determinado ambiente onde só tinha bico pequeno.
4. **Professora:** Peraí. A espécie vivia no ambiente que só tinha bico pequeno/ como assim?
5. **Estudante 3:** Que só tinha/ tinha/ Não era uma espécie só?
6. **Professora:** Era uma espécie/ que compunha uma população.
7. **Estudante 3:** Sim/ Ou de bico grande ou de bico pequeno. Mas digamos que era de bico pequeno. Ai/ elas se dividiram/ não é isso?

8. **Professora:** Era/ só que tinha uma variação. Ela não era só de bico pequeno.
9. **Estudante 2:** Tinha médio/ grande/
10. **Professora:** Você está falando já no final?
11. **Estudante 3:** Sim/ Você tá falando que os bicos já vieram variados?
12. **Estudante 2:** Já.
13. **Professora:** Na população inicial já tinha variação.
14. **Estudante 3:** Tinha variação?

Embora o essencialismo tenha sido suplantado na Biologia desde meados do século XIX, segundo Shtulman (2006), pesquisas em psicologia cognitiva fornecem evidências de que o mesmo está amplamente presente na forma de interpretar o mundo vivo de indivíduos de todas idades e de diferentes culturas. Este é um dos fatores que explicam a frequência com que o conceito de adaptação é significado de uma perspectiva transformacional.

Dados da literatura sobre concepções alternativas (DESMASTES; GOOD; PEEBLES, 1996) e de entrevistas e interações discursivas com alunos do ensino superior, coletados por nós (SEPULVEDA, 2010), apontam outro obstáculo à gênese da perspectiva variacional: o apego às causas próximas, eficientes, que dificultam a compreensão das especificidades da explicação seletional.

Desmastes e colaboradores (1996) estudaram a elaboração conceitual de três estudantes ao longo de um curso de Biologia do ensino médio. Os dados apresentados por estes autores nos mostram que as três estudantes iniciaram o processo de aprendizagem abordando a mudança adaptativa a partir da noção de que a evolução da forma orgânica é dirigida pela necessidade. Ao longo do processo de elaboração conceitual, no entanto, as estudantes reconheceram que era preciso algo mais para explicar a adaptação, a saber, a explicitação de um mecanismo através do qual a forma orgânica atingiria “o ajuste perfeito” às condições de vida. Por caminhos diferenciados, as três alunas encontraram no conceito de mutação um mecanismo que consideravam plausível para explicar como a mudança adaptativa ocorre por meio da produção de variações fenotípicas na população. Abaixo, reproduzimos uma destas explicações, apresentada pela estudante de pseudônimo Meredith em entrevista concedida aos pesquisadores, sobre conceitos que usaria para explicar como a evolução se processa:

Bem, eu diria, eh, é a mutação... que produz uma nova característica... Eu quero dizer que, você sabe, há uma mutação que ocorre... que produz uma nova característica e agora existem características que possibilitam que as espécies sejam mais capazes, que sejam mais ajustadas a seus ambientes, e então, estas características irão duplicar... (DESMASTES et al., 1996, p.420, traduzido pelos autores do presente artigo).

Neste caso é atribuído à mutação o papel central no processo evolutivo. A triagem destas variantes em função de sua vantagem adaptativa e da sobrevivência e reprodução diferencial de seus portadores, e o acúmulo de mudanças resultantes deste processo, assumem um papel secundário na explicação acima dada por uma das referidas estudantes para a adaptação. Estes dados podem estar relacionados a um apego às causas próximas, àquelas que agem imediatamente sobre os organismos.

Segundo Caponi (2005), este é um compromisso epistemológico que esteve na base da defesa de teorias transformacionais da evolução, alternativas ao darwinismo, tanto aquelas que o precederam como aquelas que ganharam força no período posterior à publicação de *Origem das Espécies*. Ao preservar a primazia da perspectiva fisiológica e atribuir à evolução causas imediatas atuantes em e sobre os organismos individuais, as explicações transformacionais aludiam a fatores que, *prima facie*, eram mais facilmente assimiláveis aos padrões newtonianos de *vera causa* do que a fugidia seleção natural.

Não se trata de traçar paralelos entre a formação do conceito darwinista de adaptação no domínio da história das ciências e sua gênese ao longo da elaboração conceitual dos estudantes na sala de aula de biologia. Em contraste, o que queremos argumentar é que o diálogo entre os dados referentes aos domínios sociocultural, ontogenético e da microgênese em sala de aula nos permite identificar os compromissos epistemológicos que podem estruturar, de diferentes maneiras, formas de pensar este conceito. À luz deste diálogo, fica clara a primazia do conceito de mutação na explicação citada acima. A mutação é, de um lado, produzida por uma causa eficiente e, de outro, é em si um evento causal eficiente no processo evolutivo, uma vez que atua imediatamente sobre os organismos individuais. De modo geral, em nossa formação aprendemos a pensar sobre causas nos termos da causalidade mecânica da física e podemos ter dificuldades, assim, de entender a causalidade de certos fenômenos biológicos não redutíveis à física (ver, por exemplo, SALTHER, 1985; ULANOWICZ, 1999; EMMECHE et al., 2000; EL-HANI; EMMECHE, 2000). Por esta razão, a filosofia da biologia pode contribuir para a elaboração de intervenções educacionais que promovam a compreensão do mecanismo da seleção natural, em particular, análises da estrutura da explicação seletional, como aquelas desenvolvidas por Caponi (2002; 2003) e Depew (2013), e argumentos de que o objeto explanatório não pode, neste caso, ser traduzido em termos físicos (e.g., CAPONI, 2002; 2003; SOBER, 1993).

Analisando o objetivo explanatório das explicações darwinistas, Caponi (2003) propõe que é possível encontrar um isomorfismo significativo entre a explicação seletional e as explicações intencionais, tais como àquelas empregadas pelas ciências humanas que apelam ao modelo da opção racional para explicar o comportamento humano. Ele apresenta o seguinte modelo para a explicação intencional (CAPONI, 2003, p.1007):

Explanans:

- *Um agente P procura alcançar a meta S.*
- *Conforme os critérios e informações que guiam a ação de P, existem dois modelos alternativos (X e Y) de alcançar S; e também segundo estes critérios e informações, X constitui o melhor entre eles.*

Explanandum:

- *P opta por X*

Com este modo de representar a explicação intencional, Caponi (2003, p.1007) pretende argumentar que a explicação intencional deve ser entendida mais como uma explicação de uma opção do que como uma explicação de uma ação. Deste modo, coloca-se em evidência o fato de que a explicação intencional, assim como a explicação seletional, dá conta da retenção ou preferência de uma alternativa, a qual, entre outras possíveis, se apresenta em um contexto dado como a solução mais satisfatória para um determinado problema.

O modelo geral da explicação seletional proposto por Caponi (2002, p.77; 2003, p.1007) deixa claro que a explicação darwinista é uma explicação da diferença de frequência entre duas alternativas – ou mais especificamente, da maior incidência de uma variável fenotípica em relação a outras em uma população – que, à semelhança da explicação intencional, nos diz por que algo pode ser melhor do que alguma outra coisa em um determinado contexto, ao nos indicarmos uma opção ou uma preferência:

Explanans:

- *Uma população P está submetida a uma pressão seletiva S.*
- *A estrutura X (presente em P) constitui a melhor resposta a S que a alternativa Y (também disponível em P).*

Explanandum:

- *A incidência de X em P é maior que a de Y.*

Ao descrever este modelo, Caponi argumenta que os fatos descritos no *explanans* não se apresentam como uma causa humeana do fato descrito no *explanandum* – não há entre eles uma relação do tipo causa e efeito, mediada por leis físicas. A descrição das pressões seletivas a que estão submetidas às populações explica a retenção de uma estrutura adaptativa não pelo fato de descrever as causas eficientes que produzem esta estrutura, mas sim por mostrar as razões de sua retenção. Nos termos de Brandon (1990), por mostrar as razões ecológicas que explicam por que um organismo portador de uma característica se mostra melhor equipado num ambiente seletivo particular do que outros organismos, portadores de estruturas alternativas.

Para Caponi (2003, p.1010), o objetivo explanatório da explicação darwinista é responder “Por que a variante fenotípica P resultou ser mais vantajosa do que a variante fenotípica alternativa R no contexto T?” Esta pergunta não pode ser traduzida em termos físicos e tampouco podem existir respostas físicas para a mesma. A física pode indicar como uma determinada estrutura se comportou ou atuou, mas não é capaz de dizer sob quais condições uma estrutura pode ter sido mais vantajosa que outra. Caponi propõe que esta impossibilidade de tradução segue do fato de que os conceitos chave da teoria darwinista, como os de pressão seletiva e adaptação, são tributários de um par categorial

para o qual não é possível encontrar um correspondente físico, qual seja, o par problema-solução. Ele argumenta que, quando enunciamos que uma estrutura biológica apresenta alguma vantagem em relação a outra ou responde a uma pressão seletiva de maneira melhor do que outra, estamos, ao menos tacitamente, dizendo que essa estrutura é mais adequada do que outra para a solução de um problema e, assim, introduzimos uma perspectiva de análise que ultrapassa a física.

Esta análise nos permite esclarecer o papel que o ambiente desempenha na explicação darwinista. Não se trata de um papel de agir diretamente nos organismos, provocando mudanças em suas estruturas, como ocorre em muitas das explicações de caráter transformacional, ou ainda, do papel de atuar como um *agente* seletivo, o que mostra os limites da “força” como analogia da seleção natural, bem como de um tratamento da seleção natural como causa eficiente. O papel do ambiente é, antes, dispor as condições em que uma determinada variante fenotípica se mostra vantajosa em relação a variantes alternativas de uma população, por contribuir para o sucesso reprodutivo de seus portadores.

Por fim, resta esclarecer o papel que as mutações desempenham no processo evolutivo. Para tanto, podemos recorrer à proposta de Mayr (2009) de que a seleção natural é um processo que ocorre em duas etapas: a primeira etapa diz respeito à produção de variações, seja através de mutações ocorridas nas células reprodutivas, ou pela recombinação gênica ocorrida durante a meiose, que dá origem a estas células. A segunda etapa consiste na triagem das variantes preexistentes pelas vantagens que apresentam sobre as demais, por conferir sobrevivência e reprodução diferencial dos indivíduos que a possuem. O papel das mutações, portanto, consiste em gerar as variantes fenotípicas de uma população – nos termos da análise da estrutura seletional acima, as alternativas –, incluindo aquelas que se tornarão proporcionalmente mais abundantes, geração após geração, sob influência de determinadas pressões seletivas.

Como aponta Mayr (2009), esta distinção de duas etapas no mecanismo da seleção natural revela outro aspecto que, em certa medida, também constitui uma novidade em relação ao modo anterior de interpretar a causalidade dos fenômenos naturais. Um antigo problema filosófico diz respeito à questão de se os fenômenos naturais ocorrem por acaso ou por necessidade. No caso da seleção natural, estamos diante de um processo de natureza mista, do qual não se pode dizer nem que é um processo aleatório, nem que é um processo estritamente determinista. No que diz respeito à primeira etapa, nem as mutações nem as recombinações gênicas na meiose produzem variantes fenotípicas de modo dirigido, sendo, portanto, processos contingentes (e não exatamente aleatórios, já que mutações e recombinações são efeitos de processos causais, embora produzam características que não são dirigidas às necessidades dos organismos numa dada circunstância ambiental, ou, dito de outra maneira, são cegas a estas necessidades). Quanto à segunda etapa, a triagem de variantes, não se pode dizer que corresponda a um processo aleatório. Os organismos que sobrevivem, chegam à idade adulta e procriam com sucesso não o fazem por acaso (MEYER; EL-HANI, 2000, p.180).

DIAGRAMA TEMÁTICO: FERRAMENTA PARA MODELAR O DESENVOLVIMENTO DO MODO DARWINISTA DE FALAR SOBRE ADAPTAÇÃO

Nesta seção, apresentamos uma ferramenta para auxiliar o desenvolvimento do modo darwinista de falar em sala de aula, que incorpora os aspectos distintivos da explicação seletcionista analisados na seção anterior. Trata-se de um diagrama temático (LEMKE, 1999) construído para representar a estrutura semântica de uma narrativa darwinista para explicar a mudança adaptativa, tal como desenvolvida na linguagem social da ciência escolar (SEPULVEDA et. al., 2011).

Os diagramas temáticos oferecem uma representação gráfica das relações semânticas que se estabelecem entre termos conceituais – designados “itens temáticos” – que descrevem o conteúdo temático de um conteúdo científico de uma área particular. Eles compõem o que Lemke (1999) denomina um “padrão temático”. O uso de diagramas temáticos para interpretar a ciência falada no diálogo entre professor e aluno foi proposto por Lemke em decorrência da perspectiva sociocultural da aprendizagem de ciências adotada por este autor. Desta perspectiva, ele sustenta que aprender ciência consiste em aprender a usar uma linguagem conceitualmente especializada para ler, escrever, resolver problemas e desempenhar atividades práticas. Deste ponto de vista, aprender ciências não se restringe apenas a dominar definições de conceitos, mas envolve aprender como combinar os significados dos diferentes termos de acordo com os modos aceitos de falar na ciência. Na interpretação de Lemke, pode-se dizer que professor e alunos estejam de fato falando ciências em sala de aula caso os termos conceituais de um dado campo do conhecimento científico estejam sendo combinados semanticamente ao longo do diálogo de modo semelhante a como se encontram relacionados em livros didáticos de ciências (considerando-se a ciência escolar) ou na linguagem de cientistas profissionais.

Sepulveda e colaboradores (2011) construíram um diagrama temático como ferramenta para avaliar a apropriação da linguagem da ciência escolar, mais especificamente, do modo darwinista de falar sobre adaptação, em narrativas produzidas por estudantes para explicar fenômenos de mudança adaptativa. O primeiro passo consistiu em construir uma narrativa padrão que representasse o discurso da ciência escolar, por meio do seguinte procedimento metodológico: trechos que explicavam mudanças adaptativas foram extraídos de livros didáticos de biologia do ensino médio, os itens temáticos foram selecionados e as relações semânticas mais recorrentes foram estabelecidas, selecionando-se então os itens e relações compatíveis com análises epistemológicas da explicação seletcionista, discutidas na seção anterior. Por este procedimento, a seguinte narrativa darwinista padrão para explicar adaptações foi estabelecida:

As populações naturais de reprodução sexuada apresentam variabilidade, dado que entre os organismos destas populações sempre existem variações fenotípicas que surgem por meio de mutação e recombinação. Os organismos que têm variações mais favoráveis para enfrentar os problemas impostos pelo ambiente terão maiores chances de sobreviver e se reproduzir. Já os organismos que não apresentam estas variações terão

menor chance de sobrevivência e reprodução bem sucedidas. Desta forma, os organismos que apresentam variações favoráveis naquela condição ambiental particular tenderão a ser selecionados. Caso as variações favoráveis sejam transmitidas aos descendentes, os organismos que as possuem passarão a constituir, com o tempo, a quase totalidade da população. O resultado deste processo é a adaptação da população a uma condição ambiental particular, caso esta se mantenha estável por tempo suficiente.

Esta formulação inclui os seguintes itens temáticos: população, organismos, mutações, recombinações, variações, variabilidade, favoráveis, sobrevivência e reprodução diferencial, seleção natural, ambiente, adaptação. As seguintes relações semânticas podem ser construídas entre eles:

Organismos – Prt/Td – População ³

Variabilidade – Atr/Co – Populações

Variações – Atr/Co – Organismos

Variações – Atr/Co – Organismos = Cs/Cq = Variabilidade – Atr/Co – Populações

Mutações- Cs/Pr – (surgir) Variações

Recombinações- Cs/Pr – (surgir) Variações

Variações – Co/Atr – Favorável = It/Cnd = Ambiente

Sobrevivência e reprodução diferencial – Pr/Pc – Organismos

Seleção Natural – Pr/Pc – Organismos

Seleção Natural – Sin – Sobrevivência e reprodução diferencial

Seleção Natural – Pr/Rs – Adaptação

Adaptação – Atr/Co – População

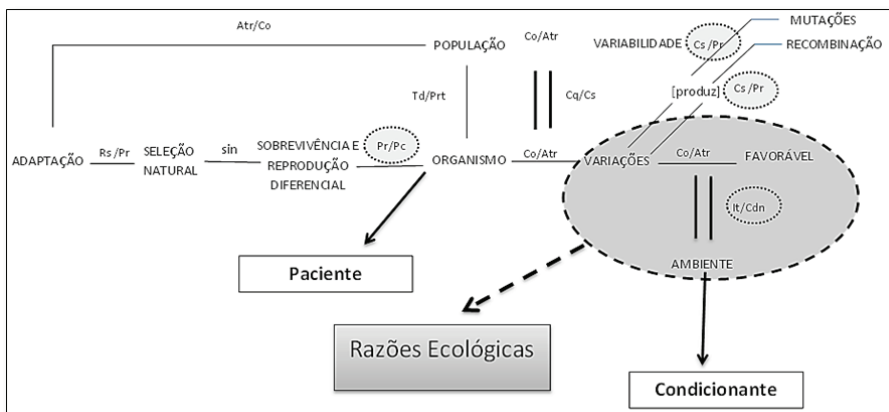
A junção destas relações deu origem a um padrão temático representado no diagrama temático ilustrado na Figura 3. Os organismos fazem parte de uma população e exibem variações, de modo que um atributo da população é a variabilidade. As variações surgem por mutações e recombinações, e algumas delas têm o atributo de serem favoráveis. Este atributo se encontra condicionado a outro item temático, as condições ambientais. Por fim, no discurso da ciência escolar, a seleção natural significa, em última instância, a sobrevivência e reprodução diferencial de organismos de uma população. A adaptação é resultado da seleção natural (no passado) e é um atributo da população, e não do organismo.

³As relações semânticas constituem uma generalização das diferentes formas gramaticais de expressar o modo como os significados de duas palavras ou dois enunciados se encontram relacionados. São apresentadas nos diagramas temáticos na forma de pares que descrevem o papel que cada um dos dois itens desempenha na relação. A abreviação antes da barra (/) consiste no papel desempenhado pelo primeiro termo da relação, seguida do papel desempenhado pelo segundo termo. Abreviaturas: Td/Prt (todo/parte); Co/At (coisa/atributo); Pr/Pc (processo/paciente); Pr/Rs (processo/resultado); Cs/Pr (causa/processo); Sin (sinônimo); It/Cnd (Item condicionado/Condição); Cs/Cq (causa/consequência).

A relação lógica de item condicionado e condição entre esta relação atributiva e o item ambiente está intimamente relacionada à análise ecológica (BRANDON, 1996), necessária para que o princípio de seleção natural cumpra seu poder explicativo (CAPONI, 2000).

Na figura 3, buscamos representar também, ao redor do diagrama temático, como as relações semânticas que o compõem podem desempenhar um papel heurístico na compreensão de algumas especificidades da explicação seletional discutidas na seção anterior. O círculo maior tracejado representa a análise das razões ecológicas (BRANDON, 1996) que explicam por que uma variante fenotípica opera como fator adaptativo. De igual modo, os demais círculos pontilhados dão destaque às relações semânticas que ligam os itens mutações e recombinação às variantes fenotípicas, os organismos à sobrevivência e reprodução diferencial e, em última instância, à seleção natural, e o item ambiente à relação entre os itens variações e favoráveis. Estes destaques geram as seguintes conclusões, algumas das quais destacadas em caixas de texto: (1) os eventos de mutação e recombinação no diagrama têm relação causal com a produção de variantes fenotípicas, e não causam diretamente a mudança adaptativa da população; (2) os organismos são pacientes da sobrevivência e reprodução diferencial e da seleção natural, e, portanto, não desempenham papel de agentes da mudança adaptativa; (3) o ambiente dispõe as condições em que determinadas variantes fenotípicas terão maior valor adaptativo que as variantes alternativas. Este é o papel que o ambiente apresenta no processo evolutivo, não sendo agente de transformações nos organismos ou agente seletivo. Estas são três conclusões que os alunos devem alcançar, para que possamos dizer que tenham sido bem sucedidos na aprendizagem da teoria da seleção natural, conforme apresentada na ciência escolar, no nível médio de escolaridade.

FIGURA 3 – Diagrama temático de uma narrativa darwinista para mudança adaptativa e suas contribuições para compreensão da natureza causal da explicação seletional.



Fonte: elaborada pelos autores.

CONCLUSÕES

Procuramos neste texto oferecer uma interpretação das dificuldades da aprendizagem do pensamento evolutivo darwinista e dos desafios de promover sua compreensão, por meio do diálogo entre a filosofia da biologia e uma abordagem sociocultural da aprendizagem, na qual se fundamenta o programa de pesquisa em perfis conceituais.

Ao fazê-lo, buscamos analisar caminhos pelos quais a pesquisa em educação científica pode dialogar e tem dialogado com a epistemologia da ciência. No caso da pesquisa sobre perfis conceituais, apresentada no texto, o diálogo com a filosofia da biologia foi fundamental não só para o processo de individualização das zonas do perfil conceitual de adaptação proposto, como para a compreensão dos processos de significação deste conceito em situações de ensino e aprendizagem de evolução, por meio da aplicação do modelo de perfil na análise de interações discursivas em sala de aula.

Ao final apresentamos um diagrama temático, no qual se encontram representadas graficamente as relações semânticas que se estabelecem entre termos conceituais que estruturam uma explicação seletional para a mudança adaptativa de uma população. Propomos que este diagrama pode constituir uma ferramenta para o planejamento de estratégias pedagógicas que pretendam promover a apropriação da linguagem social da ciência escolar, especificamente, do modo darwinista de falar sobre adaptação. Para potencializar este papel heurístico, buscamos integrar a esta ferramenta, resultados da análise que fizemos ao longo do artigo acerca das dificuldades de compreensão do conceito darwinista de adaptação, com base no diálogo entre a literatura sobre ensino e aprendizagem de evolução e a produção da filosofia da biologia sobre o conceito de adaptação e a da explicação seletional.

REFERÊNCIAS

- ANDREWS, P. W.; GANGESTAD, S. W. MATTHEWS, D. Adaptationism – How to carry out an exaptationist program. *Behavioral and Brain Sciences*, v.25, p.489-553, 2002.
- ASH, Doris. Thematic Continuities: Talking and thinking about adaptation in socially complex classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, v.45, n.1, p.1-30, 2008.
- AYALA, F. J. Darwin's explanation of design: From natural theology to natural selection. *Infection, Genetics and Evolution*.v.10, n.6, p.839-842, 2010.
- BRANDON, R. N. *Adaptation and environment*. Princeton: Princeton University Press. 1990.
- BRUMBY, M. N. Misconceptions about the Concept of Natural Selection by Medical Biology Students. *ScienceEducation*, v.68, n.4, p.493-503, 1984.
- CAPONI, G. La regla de Darwin. *Principia*, v.4, n.1, p.27-77, 2000.
- _____. Explicación seletional y explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. *Episteme*, n.14, p.57-88, 2002.
- _____. Darwin: entre Paley y Demócrito. *História, Ciência, Saúde – Manguinhos*, vol. 10, n.3, p.993-1023, 2003.

_____. O darwinismo e seu outro: a teoria transformacional da evolução. *Scientiae Studia*, v.3, p.233-242, 2005.

_____. El viviente y su medio: Antes y después de Darwin. *Scientiae Studia*, v.4, n.1, p.9-43, 2006.

CLOUGH, E. E.; WOOD-ROBINSON, C. How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, v.19, n.2, 1985.

DAWKINS, R. *The blind watchmaker*. 2.ed. New York: Norton. 1996.

DEMASTES, S. S.; GOOD, R. G.; PEEBLES, P. Patterns of conceptual change in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, v.33, n.4, p.407-431, 1996.

DEPEW, D. Conceptual change and the rhetoric of evolutionary theory: “force talk” as a case study and challenge for science pedagogy In: KAMPOURAKIS, K. (Ed.). *Philosophy of Biology: A companion for educators*. Dordrecht: Springer, 2013. p.121-144.

EMMECHE, C.; KÖPPE, S.; STJERNFELT, F. Levels, emergence and three versions of downward causation. In: ANDERSEN P. B; EMMECHE, C.; FINNEMANN, N. O.; CHRISTIANSEN, P. V. (Eds.). *Downward causation: Minds, bodies and matter*. Aarhus: Aarhus University Press, 2000. p.13-34.

EL-HANI C. N.; EMMECHE, C. On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation. *Theory Bioscience*, v.119, p.234-275, 2000.

FERRARI, M.; CHI, M. T. H. The nature of naïve explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, v.20, n.10, p.1231-1256, 1998.

GODFREY-SMITH, P. Adaptationism and the power of selection. *Biology and Philosophy*, v.14, p.181-194, 1999.

HULL, D. Recent Philosophy of Biology: A review. *Acta Biotheoretica*, v.50, n.2, p.117-128, 2002.

LEMKE, J. L. *Talking science: Language, learning and values*. Norwood: Ablex, 1990.

MAYR, E. *Toward a New Philosophy of Biology*. Cambridge: Harvard University Press, 1988.

_____. *O que é evolução*. Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

MEYER, D.; EL-HANI, C. N. *Evolução: o sentido da biologia*. São Paulo: Editora UNESP, 2005.

MORTIMER, E. F. *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. Tese (Doutorado em Educação). Universidade de São Paulo, 1994.

_____. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education* v.4, p.267-285, 1995.

_____. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; AMARAL, E. M. R.; EL-HANI, C. N. Conceptual Profiles: Theoretical Methodological Bases of a Research Program. In: MORTIMER, E.; EL-HANI, C. N. (Eds.). *Conceptual Profiles: A theory of teaching and learning Scientific Concepts*. Dordrecht: Springer, 2014. p.3-33.

- NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Functional explanations in biology, ecology, and Earth System Science: Contributions from philosophy of biology. *Boston Studies in the Philosophy of Science*, v.290, p.185-200, 2011.
- NUNES-NETO, N. F.; MORENO, A.; EL-HANI, C. N. Function in ecology: An organizational approach. *Biology and Philosophy*, v.29, p.123-141, 2014.
- PIGLIUCCI, M.; KAPLAN, M. The fall and rise of Dr. Pangloss: Adaptationism and the Spandrels paper 20 years later. *Trends in Ecology and Evolution*, v.15, p.66-70. 2000.
- RUSE, M. Evolutionary Biology and Teleological Thinking. In: ARIEN, A; CUMMIS, R; PERLMAN, M. *Functions: New essays in the philosophy of psychology and biology*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- SALTHER, S. *Evolving hierarchical systems: Their structure and representation*. Columbia University Press, New York, NY. 1985.
- SEPULVEDA, C. *Perfil conceitual de adaptação: uma ferramenta para análise de discurso de salas de aula de biologia em contextos de ensino de evolução*. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2010.
- SEPULVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? *Ciência & Ambiente*, v.36, p.93-124, 2008.
- SEPULVEDA S. C.; REIS, V. P. G. S.; ALMEIDA, M. C.; CARNEIRO, M. C. L.; AMARANTE, A. L. A. C. P. EL-HANI, C. N. Uma ferramenta sociocultural de análise da apropriação da linguagem social da ciência escolar. *Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*, a.668-3. Campinas: ABRAPEC, 2011.
- SEPULVEDA, C.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Conceptual Profile of Adaptation: A Tool to Investigate Evolution Learning in Biology Classrooms. In: MORTIMER, E.; EL-HANI, C. N. (Eds.). *Conceptual Profiles: A theory of teaching and learning Scientific Concepts*. Series: Contemporary Trends and Issues in Science Education. Dordrecht: Springer, 2014a. p.163-200.
- _____. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.18, n.2, p.439-479, 2014b.
- SHTULMAN, A. Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology*, v.52, p.170-194. 2006.
- SOBER, E. *The Nature of selection: Evolutionary theory in philosophical focus*. Chicago: The University of Chicago Press. 1993. 383p.
- ULANOWICZ, R. E. Life after Newton: An ecological metaphysic. *BioSystems* 50: 127-142. 1999.
- VARGENS, M. M. F.; EL-HANI, C. N. Análise dos efeitos do jogo Clipsitacídeos (clipbirds) sobre a aprendizagem de estudantes do ensino médio acerca da evolução. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v.11, p.143-168, 2011.
- WERTSCH, J. V. *Vygotsky and the social formation of mind*. Cambridge: Harvard University Press. 1985.