



## **Obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo: análise em livros didáticos de Biologia aprovados pelo PNLD 2012**

### **Obstacles to understanding evolutionary thought: analysis of high school biology textbooks approved by PNLD 2012**

**Leonardo Augusto Luvison Araújo**

Colégio de Aplicação da UFRGS  
leonardo\_luvison@hotmail.com

**Russel Teresinha Dutra da Rosa**

Departamento de Ensino e Currículo  
Faculdade de Educação da UFRGS  
russeltdr@gmail.com

#### *Resumo*

Uma série de estudos tem identificado obstáculos para o desenvolvimento do pensamento evolutivo. Considerando que um dos principais recursos didáticos utilizados nas escolas brasileiras é o livro didático, esse trabalho busca uma aproximação entre as abordagens do conteúdo de evolução biológica nos livros de Biologia integrantes do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio no Brasil - 2012, e os estudos empíricos que identificam obstáculos á compreensão do pensamento evolutivo em estudantes. Parte-se de uma análise documental dos livros didáticos, verificando a forma como os conceitos de seleção natural, variação populacional e adaptação são abordados. A partir da abordagem presente nos livros, esse estudo apresenta algumas sugestões de como esses materiais didáticos podem cooperar para que os estudantes superem dificuldades sobre eventos e processos evolutivos, em consonância com os pressupostos epistemológicos e as práticas de construção do conhecimento próprias da Biologia Evolutiva.

**Palavras chaves:** ensino de evolução; livro didático; obstáculos epistemológicos.

## *Abstract*

Studies have identified obstacles to the development of evolutionary thought, suggesting that a large proportion of students have ideas about biological evolution that are different from those established by science. This study evaluates the contribution of high school Biology textbooks to the development of the evolutionary thought. We analyzed Biology textbooks approved by the 2012 National Textbook Program for High School Education, evaluating the concepts of natural selection, population variation and adaptation. Although research in Biology Teaching suggests that the learning of these concepts can be influenced by alternative conceptions of students, textbooks seem to ignore the processes of knowledge construction and the obstacles faced by students.

**Keywords:** biological evolution teaching; biology textbook; epistemological obstacles.

## Introdução

A evolução biológica é essencial para o distanciamento de uma abordagem fragmentada e colecionista dos conhecimentos em Biologia. Para compreender de modo abrangente e integrado a Biologia, se faz necessário entender a história da vida na Terra, assim como os mecanismos que pautam as mudanças biológicas. No ensino de Biologia, além desses aspectos, os alunos também precisam entender as limitações das explicações evolutivas, sendo capazes de examinar criticamente proposições, como por exemplo, a ideia discutível de que as pessoas estariam sujeitas ao determinismo biológico.

Por isso, é necessário o desenvolvimento do pensamento evolutivo, que historicamente encontrou inúmeros obstáculos para sua aceitação. Além das dificuldades conceituais, a teoria evolutiva desafia convicções filosóficas e epistemológicas, o que dificulta sua abordagem no contexto de sala de aula (OLEQUES; BARTHOLOMEI; BOER, 2011). Nesse sentido, estudos têm sugerido que uma proporção considerável de estudantes, em diversos níveis de ensino, possui ideias acerca da evolução biológica diferentes daquelas atualmente aceitas na comunidade científica. As concepções dos estudantes são geralmente marcadas pela atribuição de finalidade e progresso ao processo evolutivo (SINATRA; BREM; EVAN, 2008; GASTAL et al, 2009; SEPULVEDA; EL-HANI, 2012; RIBEIRO et al, 2010; OLEQUES; BARTHOLOMEI; BREM, 2011; BLANCKE, 2012). Alguns desses estudos empregam a noção de obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo como causa de inércia e até de regressão na aprendizagem de evolução.

Considerando a prevalência de obstáculos entre os estudantes, o livro didático deve contribuir para o aprendizado científico dos alunos de nível médio, permitindo o acesso à produção científica, bem como às formas de raciocínio epistemológico das Ciências Biológicas.

## Obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo

A concepção de obstáculo epistemológico tem suas origens na obra *A Formação do Espírito Científico* (1938), de Gaston Bachelard. Obstáculos resultam da própria atividade

cognitiva na relação sujeito-objeto, podendo dificultar a abstração e a construção dos objetos teóricos da Ciência. Para o autor, os obstáculos epistemológicos podem ter origem na observação primeira, a qual pode ter a pretensão de compreender o mundo a partir de uma percepção imediata. Eles também podem ter origem no conhecimento geral, quando a generalização leva à padronização do pensamento. Obstáculos também decorrem do substancialismo, que leva à atribuição de qualidades íntimas e ocultas a uma substância. E, finalmente, ao animismo, que resulta da aplicação da intuição da vida aos diferentes fenômenos, também podendo se configurar como uma barreira à compreensão da evolução biológica. A superação desses obstáculos seria necessária tanto no desenvolvimento histórico da Ciência, quanto na prática cotidiana da educação. Bachelard defende uma forma de ensinar em correspondência com a evolução do espírito científico. Segundo ele, o novo espírito científico é entendido como aquele necessário para o acompanhamento das reconstruções produzidas pela Ciência, sob a ótica da sua História.

No entanto, alguns problemas na aprendizagem de conceitos científicos parecem mais relacionados à natureza do objeto do conhecimento do que à epistemologia, sendo, por isso, denominados de obstáculos ontológicos. Chi (1992) propõe categorias ontológicas nas quais os conceitos são designados, auxiliando na interpretação de que os conceitos científicos demandam dos alunos, muitas vezes, uma visão de mundo que é ontologicamente diferente de suas percepções cotidianas da realidade.

Os estudos de Sepulveda e El-Hani (2012), através de questionários respondidos por estudantes brasileiros do Ensino Médio e do Nível Superior, possibilitaram o reconhecimento de compromissos epistemológicos e ontológicos que sustentam a compreensão dos estudantes em temas pertinentes à evolução biológica. Esses compromissos expressam-se na forma de obstáculos à compreensão de conceitos evolutivos e foram identificados quando os estudantes defrontaram-se com exemplos de “mudança evolutiva” e “adaptação”. Na interpretação dos exemplos de compreensões dos estudantes os autores identificaram os seguintes obstáculos epistemológicos/ontológicos: (a) ausência de explicação etiológica, a qual aparece como uma tendência de priorizar a descrição funcional das características adaptativas e não as explicações causais de natureza etiológica; (b) explicações finalistas para justificar a existência de adaptações orgânicas aos diferentes ambientes, compreendidas em termos de um propósito a ser satisfeito intencionalmente pelos seres vivos ; (c) pensamento essencialista, por meio do qual a evolução é concebida como um processo em que a essência da espécie se transforma ao longo do tempo, a partir da transformação individual de cada organismo. Esse pensamento impede que a evolução seja entendida como um processo populacional; (d) erro categórico, em que há confusão, por exemplo, entre o desenvolvimento dos organismos individuais e a evolução das populações de seres vivos; (e) reação ao discurso materialista da ciência, identificada em ideias que recorrem ao sobrenatural para explicar causas de fenômenos naturais. Outros estudos, nessa mesma linha, verificaram que a grande maioria dos estudantes apresenta compreensões teleológicas, em níveis variados, do processo de seleção natural, além de uma perspectiva linear e progressista da história evolutiva (GASTAL, 2009; RIBEIRO et al, 2010).

Alguns desses obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo podem estar relacionados à ausência de um trabalho pedagógico com a finalidade de desenvolver o pensamento populacional entre os estudantes, contribuindo para a permanência de

concepções essencialistas, teleológicas e progressistas que muitos alunos expressam. O pensamento populacional foi imprescindível na história da teoria evolutiva, apresentando um grande impacto nos campos da sistemática, diversidade biológica, interpretação do gradualismo, especiação, macroevolução, seleção natural e até fora da comunidade científica e acadêmica, como na política (MAYR, 2005). Para compreender o pensamento populacional é necessário o contraste com o modo de pensamento que ele substitui, o qual Mayr chama de essencialista ou tipológico. O pensamento populacional rejeita a ideia de que as espécies caracterizam-se por tipos ideais: a variação em uma população não é o desvio de um estado natural da espécie (SOBER, 1980). O alcance da variação individual em uma espécie é o resultado de um contínuo processo de mutação, recombinação e seleção dos fenótipos produzidos de geração em geração. Ernst Mayr (1991) exprime a importância do pensamento populacional para a evolução quando cita o olhar diferencial de Darwin para a variabilidade das populações:

Foi necessário o gênio de Darwin para ver que a singularidade de cada indivíduo não é limitada à espécie humana, mas é igualmente verdadeira para toda espécie animal ou vegetal, sexualmente reprodutiva. De fato, a descoberta da importância do indivíduo tornou-se a pedra fundamental da teoria da seleção natural de Darwin. Isto, eventualmente, resultou na substituição do essencialismo pela ideia de população, que enfatiza a singularidade do indivíduo e o papel crítico da individualidade na evolução. Desta maneira, a variação, que para os essencialistas era irrelevante e acidental, tornava-se agora um fenômeno crucial da natureza viva (MAYR, 1991).

Devido a sua importância na estrutura da teoria evolutiva, o pensamento populacional é indispensável para uma compreensão adequada dos conceitos construídos pela teoria evolutiva, tais como o de seleção natural, variação biológica e adaptação. Considerando a importância desses conceitos, utilizamos nesse estudo a ideia de obstáculos epistemológicos e ontológicos ao desenvolvimento do pensamento evolutivo para a análise de livros didáticos de Biologia dirigidos aos estudantes do nível médio.

## Metodologia

O problema foi averiguado com base em trabalhos pretéritos que investigaram compromissos epistemológicos e ontológicos que sustentam as interpretações evolutivas dos estudantes. Esses estudos apontam que os alunos, quando indagados sobre processos evolutivos, compartilham pontos em comum, como o de que a evolução biológica visa ao melhoramento dos organismos, possui um propósito último, entre outros aspectos que são discutidos ao longo da apresentação dos resultados. Esses aspectos são debatidos no artigo tendo como eixo a abordagem dos livros didáticos para os conceitos de adaptação, seleção natural e variação populacional. Esses conceitos foram escolhidos porque, além de serem de suma importância em Biologia Evolutiva, parecem sujeitos a inúmeros obstáculos para a sua compreensão. Para atingir um universo amostral abrangente de livros didáticos do sistema educacional brasileiro, procurou-se analisar todos os títulos integrantes do Guia de Livros Didáticos para a Biologia, do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (2012) no capítulo de Evolução Biológica (ou equivalente):

Quadro 1: Livros didáticos de Biologia do PNLEM-2012

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Editora</b>
BIO vol.2	Lopes e Rosso	2010	Saraiva
BIOLOGIA vol.3	Silva, Sasson e Caldini	2010	Saraiva
BIOLOGIA vol.3	Pezzi, Gowdak e Mattos	2010	FTD
BIOLOGIA PARA A NOVA GERAÇÃO vol.3	Mendonça e Laurence	2010	Nova Geração
BIOLOGIA vol.3	Martho e Amabis	2010	Moderna
BIOLOGIA HOJE vol.3	Linhares e Gewandsnajder	2010	Ática
NOVAS BASES DA BIOLOGIA vol.3	Bizzo	2010	Ática
SER PROTAGONISTA – BIOLOGIA	Santos, Aguilar e Oliveira	2010	SM

A partir da análise dos conteúdos selecionados, alternativas condizentes com aspectos epistemológicos e históricos da Biologia Evolutiva são discutidas.

## Resultados e Discussão

### Seleção natural e variação populacional

Muitas das dificuldades que impedem uma boa compreensão da seleção natural desenvolvem-se na infância, como parte de concepções alternativas de como o mundo é estruturado. Estas concepções tendem a persistir na vida adulta, a menos que sejam substituídas por concepções mais precisas e igualmente funcionais (GREENE, 1990). Em alguns casos, mesmo com instruções corretas, é comum o recurso às ideias alternativas quando os estudantes se deparam com dificuldades em explicar algum fenômeno (DEADMAN; KELLY, 1978). Nesses casos, é bastante claro que simplesmente descrever o processo de seleção natural para os estudantes é ineficaz, sendo imperativo o confronto de concepções alternativas e conceitos científicos para que haja um conflito cognitivo que leve à necessidade da construção de um novo entendimento do processo.

Uma compreensão adequada da seleção natural deve reconhecer esse processo ocorrendo nas populações biológicas ao longo de muitas gerações. Ela se dá através do efeito cumulativo e estatístico sobre a proporção de características que diferem em suas consequências para o sucesso reprodutivo. A seleção natural é alternativamente concebida, pelos estudantes, como sendo "tudo ou nada", com todos os indivíduos não adaptados morrendo e os aptos sobrevivendo (SINATRA; BREM; EVAN, 2008). No entanto, de acordo com os modelos teóricos aceitos pela comunidade científica, deveria ser compreendida como um processo probabilístico em que algumas características adaptativas tornam mais provável a sobrevivência e reprodução dos organismos detentores dessas características. Apesar de essa compreensão ser bem conhecida e aceita pela comunidade científica, diversos livros concebem a seleção natural como um processo único e transformacionista. Pezzi et al (2010), por exemplo, não menciona que o processo de seleção natural ocorre ao longo das gerações, o que dá margem para que os alunos concebam esse processo como um evento único que levaria à sobrevivência dos mais aptos:

Darwin supôs que os fatores alimento e espaço controlariam o tamanho das populações, sobrevivendo apenas os mais aptos, num processo de seleção natural. Segundo ele acreditava, a variabilidade seria inerente às populações, e apenas os mais aptos sobreviveriam (PEZZI; GOWDAK; MATTOS, 2010, p. 72).

A sobrevivência dos mais aptos acaba sendo encarada como um duelo entre ganhadores e perdedores e a sutil capacidade da seleção de agir sobre pequenas diferenças na sobrevivência e fecundidade não é considerada. Conceber a seleção natural como um evento de curta duração, em uma ordem sequencial de início e fim, pode gerar a interpretação de que esse processo é orientado para uma finalidade particular. Além disso, pode também contribuir para o pensamento transformacionista, que considera possível as adaptações ocorrerem em toda a população simultaneamente. Essa concepção episódica pode levar os estudantes a pensar de um modo "saltacionista", em que características adaptativas complexas aparecem repentinamente em uma única geração. Dessa forma, a força de pequenos incrementos seletivos, compostos ao longo de centenas ou milhares de gerações, não fica evidente.

Um exemplo bastante comum, utilizado nos livros didáticos para exemplificar a seleção natural, é o da resistência das bactérias aos antibióticos, geralmente na forma de material complementar no final do capítulo que trata da seleção natural. Nesse exemplo, os autores quase sempre tratam de forma indistinta a origem da variação e o processo de seleção natural em si. Muitos estudantes podem acreditar que a exposição a antibióticos causa diretamente a resistência bacteriana. Dificilmente os alunos pensarão que o antibiótico produz a alteração nas frequências relativas de bactérias resistentes e não resistentes. Normalmente, não há referência que deixe claro que a seleção natural não cria novas variações, influenciando apenas na proporção das variantes existentes.

As explicações nos livros didáticos sobre as causas de variabilidade também apresentam alguns problemas, como pode ser observado no excerto de Silva et al :

Dizer que mutações ocorrem ao acaso significa que não se pode prever, com antecedência, em qual célula do organismo ou, ainda, em qual gene a mutação irá ocorrer (SILVA; SASSON; CALDINI, 2010, p. 224).

O acaso nas mutações no trecho acima está atrelado apenas ao local físico onde a mutação pode ocorrer (em quais genes e em quais células). Os autores omitem que o acaso nas modificações das bases nucleotídicas é muito importante para o entendimento da geração de variabilidade como não direcional. O acaso também deveria ser evocado no sentido de que a probabilidade de ocorrência de uma mutação não é afetada pela utilidade que ela possa vir a ter para o indivíduo que a apresenta. As mutações, portanto, ocorrem ao acaso, o que não quer dizer que todos os locos gênicos sofrem a mesma taxa de mutação.

Pezzi et al (2010) também pouco explora a natureza aleatória das mutações:

As mutações, alterações ao acaso do material genético de uma espécie, constituem a fonte primária das variações. Podem ser benéficas ou prejudiciais. O crossing-over e a segregação independente respondem pelas variações entre os organismos, e a seleção natural, assegurada pelo ambiente, é que mantém as

variações vantajosas e descarta as prejudiciais (PEZZI; GOWDAK; MATTOS, 2010, p. 75).

Os autores omitem as mutações neutras, que são parte importante da geração de variabilidade. Termos como o ambiente "descarta" as mutações prejudiciais podem reforçar as concepções da natureza como um agente consciente.

Outro aspecto que chama a atenção está relacionado ao fato de que a maioria dos autores trata a geração de variabilidade genética desvinculada da variação fenotípica. Um dos poucos livros que relaciona a variação genética entre indivíduos com os fenótipos correspondentes foi o livro didático de autoria de Santos, Aguilar e Oliveira. Os exemplos fenotípicos de que os autores se valem, no entanto, são de pouca importância para mudanças evolutivas por seleção natural:

Tanto a mutação como a recombinação gênica são importantes fontes de variabilidade genética das populações [...] A variabilidade genética está relacionada à variação do fenótipo, que pode ser constatada em diversas características. A estatura, cor dos olhos, tipo de cabelos, a forma do rosto e do nariz, por exemplo, são características que variam entre os seres humanos. (Santos; Aguilar; Oliveira, 2010, p. 152)

De modo geral, a variabilidade de características fenotípicas humanas é tomada como exemplo de diversidade biológica nos livros didáticos. Os exemplos de variabilidade populacional ilustrados por imagens de homens e mulheres de diversas origens étnico-raciais podem ser efetivos, uma vez que os humanos possuem habilidades cognitivas que permitem usar pistas faciais para avaliar traços de outras pessoas, tais como sexo, idade, saúde e agressividade. Esse assunto é extensivamente abordado na literatura em psicologia e alguns autores, inclusive, sugerem que a seleção natural favoreceu o desenvolvimento dessas habilidades cognitivas durante a história evolutiva humana.

Contudo, essa abordagem pode representar um viés, pois os alunos podem considerar que os outros organismos não apresentam variação biológica, uma vez que não são facilmente perceptíveis aos olhos humanos. Outras características, que poderiam ser mais relevantes para a seleção natural, relacionadas à fisiologia e à biologia celular dos organismos, não são consideradas em seu espectro variacional nas populações. Exemplos dessa natureza seriam mais adequados para discutir a variação biológica no contexto da seleção natural.

O problema de a diversidade populacional não ser representada nos textos, esquemas e ilustrações se estende para os casos em que os autores exploram as espécies fósseis nos livros didáticos. Seguidamente tem-se uma sequência ascendente de organismos ao longo do tempo geológico, com apenas alguns grupos sendo representados.

Quando os livros tratam da origem e diversidade dos grandes grupos de organismos, acabam super-representando a história evolutiva humana em relação aos outros organismos; as outras formas de vida apresentadas costumam restringir-se aos vertebrados, geralmente répteis e mamíferos. Invertebrados, plantas, algas, fungos, protozoários e bactérias quase nunca são tratados nos capítulos sobre a história da vida na Terra. Essa ênfase reforça uma visão antropocêntrica da história da vida, bem como o olhar linear e progressista da história evolutiva que muitos estudantes apresentam.

Com base nas pesquisas sobre concepções alternativas, acreditamos que a aprendizagem da seleção natural deveria incluir esforços para identificar e enfrentar equívocos dos alunos. A maioria das dificuldades derivam de concepções alternativas profundamente arraigadas, construídas desde a infância do indivíduo. A seleção natural, como uma complexa teoria científica, vai contra a experiência comum e, portanto, compete - geralmente sem sucesso - com idéias intuitivas sobre herança, intencionalidade, variação e probabilidade. Os livros didáticos de Biologia, produzidos sem o estabelecimento de interfaces com autores e pesquisadores de outras áreas de conhecimento, e também por empregarem uma linguagem biológica frequentemente imprecisa para descrever fenômenos evolutivos, servem para reforçar esses problemas. A exploração mínima ou pouco satisfatória da variação populacional também representa uma lacuna na abordagem dos livros didáticos em evolução.

## Adaptação

A busca por uma definição adequada de adaptação gera intensos debates entre os filósofos da Biologia. Uma das discussões é se essa definição deve envolver processos históricos ou apenas aspectos não históricos (LEWENS, 2007). De acordo com a definição histórica, uma característica é considerada adaptativa porque no ambiente ancestral os indivíduos que a possuem foram selecionados devido a essa vantagem. A característica pode ser considerada como uma adaptação se ela espalhou-se em uma população devido à seleção natural, mesmo que atualmente não confira qualquer vantagem. Por outro lado, a definição é considerada como não histórica quando não há referência ao passado, apenas considerando a vantagem de um traço que é selecionado atualmente. Um ponto crucial de ambas as definições é que a população se adapta; não os indivíduos.

Quando analisados os livros didáticos de ensino médio fica claro que o conceito de adaptação não é definido historicamente, raramente os livros recorrem a definições que levam em conta as transformações ao longo do tempo. O maior problema de desconsiderar a dimensão histórica de uma adaptação está relacionado ao fato de que a seleção natural não é prospectiva, no sentido de produzir necessariamente características que se tornam benéficas em algum momento futuro. A evolução é um processo dependente de grandes extensões de tempo e há uma dependência causal sobre condições antecedentes ou eventos particulares. Como a maioria dos autores de livros didáticos utiliza exemplos de traços complexos para ilustrar características adaptativas, sem mencionar sua possível história evolutiva, a explicação de adaptação acaba sendo insatisfatória.

Veja o exemplo a seguir:

A adaptação é um processo complexo que tem como resultado final a manutenção das formas que estejam em harmonia com o ambiente e, conseqüentemente, que permitam a sobrevivência do ser vivo e aumentem sua capacidade de gerar descendentes. O conceito evolutivo de adaptação envolve características relacionadas à sobrevivência e ao sucesso reprodutivo do organismo que podem ser transmitidos de geração em geração, podendo ser definidas como características da espécie (MENDONÇA; LAURENCE, 2010, p. 222).

O conceito de adaptação nessa definição é claramente não histórico e, além disso, reforça concepções teleológicas ao apontar que a adaptação "harmoniza" os indivíduos ao ambiente. Outro problema nessa definição é a afirmação de que as adaptações quase sempre tornam as populações mais aptas a sobreviver no seu ambiente, desconsiderando que o ambiente também passa por transformações. Na maioria das obras, o ambiente é indiretamente descrito como algo estático, o qual as populações cada vez mais "se adaptam", como pode ser visto no excerto abaixo:

Durante o processo de evolução, a seleção natural atua sobre a variabilidade existente nas populações, favorecendo os indivíduos que apresentam características hereditárias mais vantajosas no novo ambiente. Esses indivíduos conseguem sobreviver e reproduzir-se com maior sucesso, deixando maior número de descendentes ao longo das gerações, que tendem a ficar cada vez mais adaptados àquele novo meio. Assim, a adaptação é consequência direta da seleção natural, determinada pelo contexto ecológico de cada população (SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA, 2010, p. 147).

A direção na qual a mudança adaptativa ocorre é dependente do ambiente, sendo que uma mudança ambiental pode fazer traços, anteriormente benéficos, tornarem-se neutros ou prejudiciais (ou vice-versa). Adaptações, portanto, não resultam em características ótimas. Elas são limitadas pelas restrições históricas, genéticas e desenvolvimentais. O papel da contingência na história evolutiva não fica claro nos livros didáticos examinados, uma vez que o ambiente quase sempre é retratado como imutável e as adaptações como não históricas.

A abordagem dos livros didáticos para explicar a origem das formas do mundo orgânico não costuma recorrer a um mecanismo causal explícito. Quando há uma explicação, ela está baseada em descrições abstratas da genética de populações, em mecanismos microevolutivos. No entanto, essa abordagem não ilumina a evolução das formas orgânicas - o principal enredo da história da vida. A biologia evolutiva do desenvolvimento se mostra uma alternativa para esse problema, pois através dos eventos do desenvolvimento embrionário aspectos importantes da morfologia - como a origem do plano corporal dos animais - podem ser revelados (CARROLL, 2005).

Uma preocupação nesse sentido é relacionada ao fato de que os alunos podem inferir que há um propósito, ou design, na natureza. Isso se deve à tendência de muitos alunos em explicar adaptações em termos teleológicos, concluindo que características orgânicas possam ser úteis para algum propósito. Se os alunos são inclinados a pensar que há um projeto na natureza, então a inferência subsequente é a de que existiria um agente consciente e não um processo inconsciente como a seleção natural. Tais inclinações podem persistir e essa pode ser uma das razões pelas quais alguns alunos rejeitam a teoria da Evolução. Por isso, os conteúdos abordados em Ciências e Biologia, tanto pelos livros textos quanto pelos professores, desde o ensino fundamental, deveriam evitar formas de expressão que conduzam a uma interpretação teleológica. Além disso, os alunos poderiam ser encorajados a observar que os organismos possuem características que podem não ter utilidade e, muitas vezes, até serem desvantajosas. Isso pode ser aproveitado no estudo de outros tópicos em Biologia, como Biologia Celular, Anatomia, Ecologia etc. que, normalmente, são ensinados antes dos conteúdos de evolução no contexto do Ensino Médio da educação básica brasileira.

Ainda que alguns traços sejam adaptativos, é importante que os alunos tenham em mente que muitas características não são adaptações. Algumas propriedades dos organismos podem ser resultado do acaso na história evolutiva. Outros traços podem ser subprodutos de alguma característica, como a cor vermelha do sangue, consequência da composição química da molécula de hemoglobina constituída, entre outros elementos, por átomos de ferro. Essas considerações levam a um debate acerca do poder explicativo da seleção natural e do papel do conceito de adaptação na Biologia (SEPULVEDA; EL-HANI, 2008). Quando se pensa que a causa primária da maioria das características biológicas relevantes tem como mecanismo o processo de seleção natural, constitui-se a chamada visão adaptacionista. No entanto, outros fatores não adaptativos podem ser enfatizados, como a deriva genética, exaptações (reaproveitamento de estruturas pré-existentes) e as restrições ao processo evolutivo. Considerando essas outras possibilidades, os livros didáticos analisados parecem bastante alinhados com a visão adaptacionista.

### O papel do livro didático para a mudança conceitual

As concepções alternativas dos alunos proporcionam um quadro conceitual que permite atribuir sentido ao mundo antes mesmo de qualquer ensino formal. De modo geral, as concepções alternativas são consideradas pelos próprios estudantes como ideias sensatas e úteis, possuindo um valor significativo em um sentido pragmático para o aluno (DRIVER; BELL, 1986). Embora essas concepções não se apliquem inteiramente para a compreensão de ideias que estão fora do domínio da experiência cotidiana, tais como vários aspectos da teoria evolutiva, elas precisam ser levadas em conta quando da produção de materiais didáticos. Dados empíricos sobre concepções alternativas de estudantes em biologia evolutiva apontam para três tendências cognitivas entre os alunos, as quais são particularmente relevantes para a aprendizagem de evolução: o essencialismo, a teleologia e a intencionalidade.

O pensamento essencialista fundamenta as crenças de identidade homogênea para as espécies, considerando cada espécie como detentora de atributos intrínsecos fundamentais e imutáveis. Pensar em termos de essência pode influenciar no modo como se considera a variação populacional e, então, a aprendizagem do processo de seleção natural e o surgimento das adaptações. Outra tendência cognitiva bastante preponderante entre os alunos é o raciocínio teleológico, o qual atribui propósitos a eventos, objetos e comportamentos dos seres vivos, representando um viés para a compreensão do processo de seleção natural e do surgimento das adaptações. Uma tendência relacionada com a teleologia é a intencionalidade atribuída aos processos evolutivos, a qual pode ser decorrente do fato de o homem ser uma espécie social atenta a nuances de significados de ações: nós tentamos decifrar mentes e comportamentos, o que nos leva a assumir intenções em quase tudo. Essa tendência pode imputar intencionalidade às adaptações e predispor a uma leitura da história evolutiva em termos de progresso.

O pensamento populacional, muito importante na Síntese Evolutiva, contrapõe-se a essas tendências cognitivas dos estudantes ao focar a população como *locus* evolutivo. No entanto, como constatado por meio da análise qualitativa das obras, os livros didáticos em pouco contribuem para o desenvolvimento do pensamento populacional.

O papel das concepções alternativas no processo de construção do conhecimento começou a ser considerado nas décadas de setenta e oitenta do século vinte, em uma vertente do campo de Ensino de Ciências conhecida como “movimento de concepções alternativas” (MCA). Esse movimento radica-se na epistemologia da Ciência, tendo como precursores pesquisadores como Piaget e Ausubel. Os estudos vinculados a esse movimento revelaram que as concepções alternativas dos alunos permanecem vivas mesmo depois de os estudantes receberem instrução formal, e que a simples transmissão de informações não promove bases fortes para o aprendizado do conhecimento científico. Esse movimento atribui conotações positivas às representações dos alunos, vistas como testemunhos inevitáveis de explicações pessoais nos processos de construção ativa do conhecimento; assim, as concepções alternativas podem ser compreendidas como o caminho para a mudança conceitual (SANTOS, 1998).

Dentro deste contexto, Santos (1991; 1998) faz uma análise da epistemologia de Bachelard e a relação dela com as concepções alternativas. Segundo Santos, essa relação se dá porque Bachelard defende uma epistemologia que considera a Ciência uma busca racional da objetivação. Enquanto o conhecimento de senso comum permanece ligado a princípios empiristas de generalidade, utilidade e finalismo, o conhecimento científico está ligado a princípios racionais, tornando-se cada vez mais teórico. Bachelard também vai ao encontro dos precursores do MCA ao defender que o sujeito organiza e estrutura o seu próprio conhecimento. Na relação sujeito-objeto, o quadro conceitual construído pelo sujeito desempenha um papel ativo na seleção, organização e construção de sentido para as novas informações recebidas. E os erros têm um papel crítico no ato de conhecer. A consideração das concepções alternativas no Ensino de Ciências, à luz da epistemologia de Bachelard, implica encarar os erros como positivos, normais e úteis - com valor intrínseco no processo ativo de construção do conhecimento.

Com a aproximação entre as ideias da epistemologia do Ensino de Ciências e a visão de Bachelard, Santos (1998, p. 104-110) estabelece as “tendências do pensar”, que nada mais são do que características em comum no aprendizado de diversos conteúdos. São elas: seguir as primeiras impressões do conhecimento sensível; procurar no real o que não contradiz conhecimentos anteriores; dar respostas demasiado gerais e acabadas; encontrar uma razão pela atribuição de vida e de propriedades antropomórficas a objetos inanimados.

A partir desses marcos teóricos e das pesquisas sobre as concepções alternativas dos alunos que são relevantes para a aprendizagem de evolução biológica, podemos sobrepor uma série de tendências que parecem importantes no desenvolvimento formal dos conceitos de seleção natural, variação populacional e adaptação em evolução biológica (Quadro 2).

Quadro 2: Conceitos evolutivos e obstáculos à aprendizagem.

<b>Conceitos em Evolução</b>	<b>Tendência cognitivas</b>	<b>Obstáculos (Sepulveda e El-Hani, 2012)</b>	<b>Tendência do pensar (Santos, 1998)</b>	<b>Obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1938)</b>
Seleção natural, variação populacional e adaptação	Essencialismo, Teleologia e Intencionalidade	Pensamento essencialista, Finalismo	Propriedades antropomórficas	Substancialismo

Tanto as pesquisas que examinam especificamente a aprendizagem dos conceitos associados à Evolução Biológica, quanto os trabalhos dos adeptos do MCA e de Bachelard, apontam obstáculos relevantes para a aprendizagem de evolução (quadro 2). Essas considerações podem revelar um constructo racional pelos estudantes para o estabelecimento dos conceitos evolutivos. Baseando-se nos modelos do ensino de Ciências que incluem levar em consideração as concepções alternativas dos alunos como aspectos importantes para a constituição do pensamento científico, pode-se ter um caminho em termos de pesquisa e ensino em biologia evolutiva.

Tendo em vista estratégias de ensino que facilitem a introdução de novas ideias e sua potencial inteligibilidade, seria necessário recorrer a modos múltiplos de apresentar os assuntos (exposições orais, textos escritos, pictóricos, esquemáticos, matemáticos...) que ajudassem a traduzir as representações de modelos evolutivos em diferentes linguagens. Poderia ser igualmente útil a utilização de contra-exemplos que ajudassem o aluno a dar atenção aos atributos que devem abstrair de um conceito e a situar esse conceito em sua rede de relações. É fomentando uma dialética entre as novas e as velhas ideias que se vai constituindo a racionalidade do saber (ANDRADE; FERRARI, 2002).

Por isso, o uso exclusivo do livro didático possui limitações, sendo apenas uma das ferramentas de que se pode lançar mão para a construção do conhecimento. No entanto, considerando a importância do livro didático na educação brasileira, podemos dizer que esse tipo de texto ainda é um dos principais meios para a aquisição do conhecimento disciplinar. Assim, fica a pergunta: como o livro texto pode intermediar a mudança conceitual?

Uma alternativa discutida pelos adeptos do MCA é a utilização de textos argumentativos com enfoque na refutação de conceitos alternativos (TIPPETT, 2010; HYND, 2003). Esse é um tipo de texto que reconhece as concepções alternativas dos alunos sobre um tópico, refuta essas concepções diretamente, e introduz concepções científicas como alternativas viáveis. A estrutura desse tipo de texto sempre contém três componentes: (1) a afirmação de um equívoco comumente realizado - a concepção alternativa; (2) uma refutação explícita desse equívoco e (3) a ênfase na explicação científica atualmente aceita. Um quarto componente pode ser uma sinalização que alerta o leitor para a possibilidade de outra concepção alternativa presente no assunto abordado (TIPPETT, 2010).

De acordo com Hynd (2003), textos com enfoque na refutação de concepções alternativas podem ser eficazes na promoção da mudança conceitual porque provocam no leitor insatisfação com os conhecimentos prévios, explicando o conceito científico de forma clara e em profundidade, tornando-o plausível através de exemplos credíveis e, finalmente, mostrando a sua aplicação. Tippett (2010), em uma recente meta-análise sobre os resultados desse tipo de texto para o Ensino de Ciências, afirma que 20 anos de pesquisas sugerem que a leitura de texto com refutação é mais efetiva para a mudança conceitual do que a leitura de textos com uma estrutura tradicional.

Apesar dos bons resultados, há de se considerar que esses textos podem passar uma imagem de Ciência acabada, substituindo crenças construídas por meio de vivências por outras verdades absolutas - as cientificamente aceitas. Bachelard e os defensores do MCA argumentam que apenas uma filosofia extremamente crítica e racionalista pode levar a um melhor padrão de conhecimento. Sendo assim, os textos com ênfase

na refutação podem auxiliar os alunos a pensar no domínio das concepções alternativas e científicas, mas também podem, perigosamente, apresentá-las como um contraponto entre concepções incorretas e corretas, dogmatizando o conhecimento científico e dotando-o de um caráter acabado e estável. Além do mais, os alunos não parecem substituir suas concepções alternativas pelas científicas assim tão logicamente. A mudança conceitual parece depender de muito mais fatores do que a insatisfação, plausibilidade e frutificação, como o modelo de mudança conceitual propõe (MOREIRA, 2009).

Um outro modelo que apresenta uma base teórica para analisar a evolução conceitual em um ambiente de ensino é a proposta de perfis conceituais, desenvolvido por Mortimer (1995). Sepulveda (2009) apresenta a construção de um perfil para o conceito de adaptação, propondo um caráter multidimensional deste conceito. Nosso estudo corrobora algumas propostas deste modelo, o qual pode ser empregado como ferramenta para o aprendizado de adaptação.

Todavia, acreditamos que uma abordagem contextual do ensino de evolução, mediante a discussão de componentes históricos e filosóficos, poderia ser útil na construção de materiais didáticos, pois fortalece o pensamento científico ao possibilitar o confronto e a discussão entre ideias concorrentes. Ao examinar aspectos históricos do pensamento evolutivo, pode-se vislumbrar um caráter dinâmico dos conceitos, em que novos sistemas de ideias são reconsiderados ao longo do tempo. Essas características são interessantes para a educação científica.

Em relação à teoria evolutiva há outras razões para considerar a inserção de componentes históricos e filosóficos. Mais recentemente, está sendo proposto um novo arcabouço teórico da biologia evolutiva, a qual ampliaria os campos de estudo e as ferramentas de pesquisa. Esta proposta, designada de Síntese Estendida da Evolução, propõe incluir novas disciplinas no campo da biologia evolutiva, sendo uma síntese muito mais pluralista (PIGLIUCCI; MULLER, 2010). Estudos recentes pautam essa reconstrução, que inclusive está retomando conceitos rechaçados na história da evolução, como aspectos da biologia do desenvolvimento e a herança branda. Eva Jablonka e Marion Lamb (2005), por exemplo, retomam o conceito lamarckiano de caracteres adquiridos, que possui base empírica em estudos com mutações dirigidas de microrganismos. Essa consideração interfere em uma premissa do processo de seleção natural adotado na Síntese Evolutiva, em que a origem da variabilidade é atribuída ao acaso. Portanto, o conhecimento científico é dinâmico ao ponto de retomar ideias e teorias descartadas ao longo da história do desenvolvimento científico.

Esses elementos aumentam a importância do ensino de evolução em concordância com a história e a filosofia do pensamento evolutivo. No entanto, há de se reformular o modo como a História da Ciência é abordada nos livros didáticos, para que não se incorra na difusão de uma pseudo-história e de uma pseudociência no contexto educacional (CORRÊA et al., 2010). É importante evitar uma versão romanceada da História da Ciência, tratando os cientistas como personalidades sem defeitos, que fazem descobertas individuais através de experimentos com a ausência de qualquer erro. Isso induz a uma interpretação não problemática das evidências e uma simplificação exagerada ou idealizada do fazer científico. Nos livros didáticos de Biologia ainda predomina essa visão simplificada e descontextualizada da história da prática científica.

Essas críticas acerca das possíveis distorções decorrentes das tentativas de inclusão de tópicos da História da Ciência, de modo a adequá-los ao ensino, reforçam o quanto essa abordagem deve ser modificada para que não adquira apenas um caráter ilustrativo. A pesquisa em História da Ciência pode auxiliar o ensino, desde que sejam propostos dispositivos didáticos que tratem de grandes questões científicas e seus múltiplos problemas filosóficos.

## Conclusão

O presente estudo considera a importância dos obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo na análise de livros didáticos de Biologia para o Ensino Médio. Uma alternativa apresentada aqui é o uso da História e da Filosofia da Ciência como base para a produção de materiais didáticos que abordem evolução biológica. Essa abordagem se torna mais atraente à medida que a própria estrutura da teoria evolutiva está em um período de mudança, em que conceitos historicamente rejeitados pelos modelos científicos estão retomando seu lugar.

## Referências

- ANDRADE, B. L; FERRARI, N. As analogias e metáforas no ensino de ciência à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Ensaio – pesquisa em educação em ciências**, v. 2, p. 1-11, 2002.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1938.
- BIZZO, N. **Novas bases da Biologia – volume 3**. São Paulo: Atica, 2010.
- BLANCKE, S; SMEDTH, J; DE CRUZ, H; BOUDRY, M; BRAECKMAN, J. The Implications of the Cognitive Sciences for the Relation Between Religion and Science Education: The Case of Evolutionary Theory. **Science & Education**, v. 21, p.1167-1184. Em: <<http://rd.springer.com/article/10.1007/s11191-011-9402-z>>. Acesso em: 10 Dez. 2012.
- CARROLL, S.B. **Infinitas formas de grande beleza – como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005.
- CHI, M.T.H. Conceptual changes within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In: R.N. Giere (ed.) **Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1992, p.129-186.
- CORRÊA, A. L; ARAUJO, E. N. N; MEGLHIORATTI, F. A; CALDEIRA, A. M. A. História e Filosofia da Biologia como ferramenta no Ensino de Evolução na formação inicial de professores de Biologia. **Filosofia e História da Biologia**. v.2, n.5, p.217-237, 2010.
- DEADMAN, J; KELLY, P. What Do Secondary School Boys Understand About Evolution and Heredity Before They are Taught the Topics? **Journal of Biological Education**, v.1, p.7-15, 1978.

DRIVER, R; BELL, B. Students' Thinking and the Learning of Science: A Constructivist View. **School Science Review**, v.67, n.240, p.443-456, 1986.

GASTAL, M.L.A; GOEDERT,D; CAIXETA, F. V; SOARES, M. N. T . Progresso, adaptação e teleologia em evolução: o que aprendemos, o que entendemos e o que ensinamos? In: VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências. **Anais...** Florianópolis. 2009.

GEWANDSNAKDER, F; LINHARES, S. V. **Biologia – volume 3**. São Paulo: Atica, 2010.

GREENE, E. The logic of university students' misunderstanding of natural selection. **Journal of Research in Science Teaching**, v.9, p.875-885, 1990.

HYND, C. Conceptual change in response to persuasive messages. In: SINATRA, M (Ed). **Intentional conceptual change**. Lawrence Erlbaum Associates, 2003, p. 291-315.

JABLONKA, E; LAMB, M. J. **Evolution in four dimensions. Genetic, epigenetic, behavioral and symbolic variation in the history of life**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2005.

LEWENS, T. Adaptation. In: Hull, D; Ruse, M. **Cambridge companion to the philosophy of biology**. Cambridge University Press, p. 1-21, 2007.

LOPES, S; ROSSO, S. **Bio – Volume 3**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010

MAYR, E. **One Long Argument: Charles Darwin and The Genesis of Modern Evolutionary Thought**. Cambridge: Harvard University Press, 1991.

\_\_\_\_\_. **Biologia, ciência única - Reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MARTHO, G. R; AMABIS, J. M. **Biologia – volume 3**. São Paulo: Moderna, 2010.

MENDONÇA, V e LAURENCE, J. **Biologia para a nova geração – volume 3**. São Paulo: Nova geração, 2010.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências. Comportamentalismo, cognitivismo e humanismo**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2010 Disponível em: <[www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf)>. Acesso em: 18 Dez. 2012.

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

OLEQUES, L. C; BARTHOLOMEI, M. L; BOER, N. Evolução biológica: percepções de professores de biologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, v.10, n.2, p.243-263. 2011. Disponível em: <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>. Acesso em: 16 Dez. 2012.

PEZZI, A; GOWDAK, D.O; MATTOS, N. S. **Biologia - volume 3**. São Paulo: FTD, 2010.

PIGLIUCCI, M; MULLER, G.B. **Evolution – The Extended Synthesis**. Cambridge: MIT Press, 2010.

RIBEIRO, M.G.L; LARENTIS, A. L; CALDAS, L. A; KAERCHER, L. E; HERBST, M. H; ALMEIDA, R. V; CABRAL, L. M. Teoria Darwinista da Evolução: identificação de concepções teleológicas entre estudantes do primeiro período de graduação em Ciências Biológicas.

In: III Encontro Nacional de Ensino de Biologia (III ENEBIO) e V Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. **Anais...** Fortaleza: UFCE, 2010.

SANTOS, F.S.; AGUILAR, J.B.V.; OLIVEIRA, M.M.A. **Ser protagonista – Biologia volume 3**. São Paulo: Edições SM, 2010.

SANTOS, M.E.V.M. As concepções alternativas dos alunos à luz da epistemologia bachelardiana. In: **Mudança conceitual em sala de aula, um desafio pedagógico**. Lisboa: Livros Horizonte, 1991, p. 128-164.

\_\_\_\_\_. **Mudança conceptual na sala de aula: um desafio pedagógico epistemologicamente fundamentado**. Lisboa: Livros Horizonte, 1998.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C.N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: O que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? **Ciência e Ambiente**, v.36, p.93-124, 2008.

\_\_\_\_\_. Obstáculos epistemológicos y ontológicos en la comprensión del concepto darwinista de adaptación: implicaciones en la enseñanza de evolución. In: Molina Andrade, A. (Org.). **Algunas aproximaciones a la investigación en educación en enseñanza de las Ciencias Naturales en América Latina**. 1ed. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, v. 1, 2012, p. 89-113.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C.N; MORTIMER, E.F. Aplicação de um perfil conceitual para adaptação à análise de interações discursivas no ensino de evolução. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Florianópolis. **Atas...** Belo Horizonte -MG: ABRAPEC, v.1, 2009.

SILVA, C; SASSON, S; CALDINI, N. **Biologia**. v. 3. São Paulo: Saraiva, 2010.

SINATRA, G. M; BREM, S. K; EVAN, M. Changing Minds? Implications of Conceptual Change for Teaching and Learning about Biological Evolution. **Evo Edu Outreach**, v.1, p.189-195, 2008.

SOBER, E. **Population Thinking, and Essentialism**. In: Philosophy of Science (pp. 350-383). Chicago: the university of Chicago press on behalf of the philosophy of science association, 1980, p. 350-383.

TIPPETT, C. Refutation Text in Science Education: a Review of Two Decades of Research. **International journal of science and mathematics education**, v.8, p.951-970, 2010.

**Recebido em 30/11/2013 aceito para publicação em 11/11/2015.**