

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**OBSTÁCULOS À COMPREENSÃO DO PENSAMENTO EVOLUTIVO:  
ANÁLISE EM LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA DO ENSINO MÉDIO**

Leonardo Augusto Luvison Araújo

Porto Alegre, Dezembro de 2012

Leonardo Augusto Luvison Araújo

**OBSTÁCULOS À COMPREENSÃO DO PENSAMENTO EVOLUTIVO:  
ANÁLISE EM LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado à  
Comissão de Graduação do Curso de Ciências  
Biológicas – Licenciatura da Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Como Requisito Obrigatório para  
Obtenção do Grau de Licenciado em Ciências  
Biológicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Russel Teresinha Dutra da Rosa

Porto Alegre, Dezembro de 2012

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora Russel Teresinha Dutra da Rosa, pela sua compreensão, paciência, ensinamentos, gentileza e, acima de tudo, por ser um exemplo de professora.

Aos meus familiares, namorada, amigos, colegas e professores que de alguma forma auxiliaram no meu amadurecimento intelectual. Sem essas pessoas esse trabalho nunca teria acontecido.

## RESUMO

A evolução biológica possui uma singular importância para o distanciamento de uma abordagem desatualizada e mecanicista dos conhecimentos em Biologia. Apesar de sua importância, estudos têm demonstrado que uma grande proporção de estudantes em diversos níveis de ensino possuem ideias acerca da evolução biológica diferentes daquelas estabelecidas pela Ciência, geralmente marcadas pela atribuição de finalidade e progresso ao processo evolutivo. Muitos desses estudos empregam como referencial teórico a noção de obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo, como causa de estagnação e inércia na aprendizagem dos conceitos evolutivos. Considerando que o livro didático possui um papel centralizador na realidade educacional Brasileira, acreditamos que as pesquisas em ensino de evolução devem ser consideradas na elaboração desses materiais didáticos. Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo analisar livros didáticos de Biologia para o ensino médio no Brasil, sob a perspectiva dos obstáculos epistemológicos e ontogênicos ao desenvolvimento do pensamento evolutivo. Parte-se de uma análise documental dos livros didáticos de Biologia integrantes do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, 2012. A abordagem realizada pelos livros em relação aos seguintes conceitos e processos evolutivos é analisada: seleção natural, variação genética e fenotípica, adaptação, espécie, especiação, filogenia, migração e deriva genética. Apesar das pesquisas em ensino de Ciência sugerirem que a aprendizagem desses conceitos podem ser influenciadas por concepções alternativas dos alunos, os livros didáticos de modo geral não dão importância a esses aspectos no ensino de evolução. As principais tendências cognitivas que podem influenciar na aprendizagem de evolução, como o pensamento essencialista, a teleologia e a intencionalidade além de não serem consideradas pelos livros, por vezes são reforçadas por esses materiais didáticos. Como alternativa para uma abordagem contextual do ensino de evolução, discutimos algumas componentes históricas e filosóficas da evolução biológica que possam promover uma formação que considere as concepções alternativas do aluno e supere a demarcação entre o ensino dos conteúdos científicos e o de seus contextos de produção.

Palavras chave: Ensino de Evolução; Livro Didático; Obstáculos Epistemológicos; Mudança Conceitual; História da Ciência.

## SUMÁRIO

<b>1 – Introdução.....</b>	<b>7</b>
1.1 – Breve Histórico do Pensamento Evolutivo.....	7
1.2 – Obstáculos à Compreensão do Pensamento Evolutivo.....	11
1.2.1 – Obstáculos Epistemológicos e Ontogênicos.....	13
1.2.2 – Pensamento Populacional.....	15
1.3 – Os Livros Didáticos.....	17
<b>2 – Objetivos.....</b>	<b>19</b>
<b>3 – Procedimentos Metodológicos.....</b>	<b>19</b>
<b>4 – Resultados e Discussão.....</b>	<b>20</b>
4.1 – Análise Qualitativa.....	21
4.1.1 – Seleção Natural, Variação Genética e Fenotípica.....	21
4.1.2 – Adaptação.....	37
4.1.3 – Especiação e o Conceito de Espécie.....	45
4.1.4 – Filogenia.....	51
4.1.5 – Deriva Genética e Migração.....	56
4.2 – O Papel da Mudança Conceitual nos Livros Didáticos.....	60
4.3 – A História e a Filosofia da Ciência como Promotoras da Mudança Conceitual....	66
<b>5 – Referências Bibliográficas.....</b>	<b>72</b>
<b>6 – Anexos.....</b>	<b>78</b>

## 1. Introdução

### 1.1 Breve Histórico do Pensamento Evolutivo

Um observador atento do mundo natural pode reparar com facilidade a variação de estruturas e modos de existência das diferentes formas de vida. O exame por si das características de cada uma das atuais espécies descritas e nomeadas – além daquelas já extintas - se apresenta como um empreendimento aparentemente interminável. Frente a essa enorme biodiversidade e à busca do entendimento de como ela foi produzida, a evolução biológica é encarada como central para a compreensão da Biologia enquanto Ciência. Essa ideia é sintetizada na famosa frase empregada pelo geneticista Theodosius Dobzhansky (1900-1975): *Nada em biologia faz sentido exceto à luz da evolução* (1973). Podemos nos surpreender, contudo, ao lembrar que o conceito moderno de evolução tem aproximadamente 200 anos, sendo, portanto, muito recente.

O século XVIII, considerado por muitos como essencial para o desenvolvimento do pensamento evolutivo, é conhecido pela exaltação da racionalidade em que novos sistemas de ideias foram estabelecidos. Ao final desse século, o conceito de um mundo mutável foi aplicado à Astronomia, em estudos sobre evolução estelar; à geologia, quando vieram à luz evidências de mudanças no planeta Terra e da extinção das espécies; e aos assuntos humanos, quando o Iluminismo introduziu ideais de progresso e aperfeiçoamento do homem. Nesse contexto, contribuindo para a Biologia, Georges-Louis Leclerc (1707-1788), o “Conde de Buffon”, sugeriu que as diferentes espécies se transformavam e poderiam surgir por variação a partir de ancestrais comuns. No entanto, Buffon esbarrava nas limitações do conhecimento de sua época acerca da diversidade da vida, um campo de estudo ainda não tão explorado pelos estudiosos europeus.

Principalmente no século XIX os naturalistas passaram a explicar a diversidade da vida através de mecanismos evolutivos. Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), Georges Cuvier (1769-1832), Charles Lyell (1797-1875), Charles Robert Darwin (1809-1882), Ernst Haeckel (1834-1919), Alfred Russel Wallace (1823-1913) e Thomas Henry Huxley (1824-1895) são exemplos de cientistas e pensadores que influenciaram o conceito de evolução nesse século (FUTUYMA, 2003). Na sua famosa viagem à bordo do navio Beagle, Darwin teve a oportunidade de vislumbrar uma diversidade enorme de fauna e de flora. Nessa viagem, Darwin leu o livro *Princípios de Geologia* de Charles Lyell, o qual defendia que as mudanças na formação da Terra aconteceram gradualmente (MAYR, 1991). O próprio Darwin

reconheceu em sua autobiografia a importância desse livro para o desenvolvimento de seus estudos.

Após a sua chegada da viagem, em 1836, Darwin já concebia a seleção natural, a origem gradual de novas espécies pela especiação geográfica, bem como a teoria da evolução pela descendência comum: ideias que exigiam que a vida fosse muito mais antiga do que os seis mil anos estabelecidos até então para a existência do planeta Terra. Em 1858, foram apresentados em um encontro da sociedade Lineana, em Londres, os trabalhos de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace que chegaram independentemente à concepção da seleção natural. O conteúdo total do trabalho de Darwin foi, então, publicado na forma do livro *A Origem das Espécies*, pela primeira vez em 1859. Mayr (1991) aponta que o pensamento evolutivo darwinista pode ser dividido em cinco teorias:

(1) *Evolução*, o mundo é mutável e os organismos transformam-se ao longo do tempo. Essa ideia não era original, mas Darwin reuniu inúmeras evidências em favor da evolução.

(2) *Descendência comum* - durante a viagem à bordo do navio Beagle, em Galápagos, Darwin teve um importante lampejo quanto à relação de ancestralidade dos organismos desse arquipélago. Darwin argumentou que espécies têm divergido de ancestrais comuns e que todas as formas de vida podem ser representadas por meio de uma grande árvore genealógica. A noção de descendência comum poderia explicar certos padrões na história natural que pareciam caóticos, como os achados da anatomia comparada e o estabelecimento de uma hierarquia taxonômica.

(3) *Multiplicação de espécies* - Darwin lançou luz sobre o problema da diversificação das espécies, ajudando a explicar a enorme diversidade orgânica.

(4) *Gradualismo* - Para Darwin a evolução ocorre de forma lenta e gradual; isso se deve pela interpretação que Darwin teve do mundo natural, em que a seleção natural age pela acumulação de sucessivas variações favoráveis nas populações.

(5) *Seleção Natural* – independentemente concebida por Wallace, é a principal hipótese de Darwin: mudanças nas proporções de diferentes tipos de indivíduos em uma população são causadas pelas diferenças nessas variantes em sua capacidade de sobreviver e reproduzir no contexto ecológico populacional.

A ideia da descendência comum foi incorporada de modo notavelmente rápido pela comunidade científica e talvez tenha engendrado o mais bem sucedido programa de pesquisa pós darwiniano. A razão era que ela se encaixava aos interesses de pesquisas em morfologia e sistemática, fornecendo uma explicação teórica para evidências empíricas anteriormente

descobertas, tais como a homologia de estruturas orgânicas e as semelhanças entre embriões de diferentes grupos de animais. Embora as outras teorias darwinistas também tenham sido plenamente abordadas na obra *A Origem das Espécies*, elas enfrentaram inúmeras oposições, sendo adotadas de maneira generalizada somente com a Síntese Evolutiva a partir dos anos de 1930/40 (MAYR, 2005).

A Síntese Evolutiva integra conceitos darwinistas e diferentes achados da Biologia, principalmente os estudos de genética do início do século XX. O termo foi introduzido por Julian Huxley em *Evolução: Síntese Moderna* (1942) para designar a aceitação geral de três conclusões: a evolução gradual pode ser explicada, através da seleção natural, em termos de variação populacional originada por pequenas mudanças genéticas (mutações) e de recombinação; os fenômenos evolutivos observados, particularmente processos macroevolutivos e de especiação, podem ser explicado de uma maneira consistente por mecanismos genéticos conhecidos; o pensamento populacional é a chave para a compreensão da origem da diversidade: as espécies são agregados de populações reprodutivamente isoladas (MAYR, 1991).

Smocovitis (1992) afirma que modelos matemáticos e a implementação de procedimentos experimentais permitiram a reformulação da teoria de Darwin na Síntese Evolutiva, relacionando os mecanismos de herança à seleção natural e auxiliando o estabelecimento da teoria da evolução nas Ciências Naturais. Os principais arquitetos dessa síntese foram: Theodosius Dobzhansky (1900-1975), Julian Huxley (1887-1975), Ernst Mayr (1904-2005), George Gaylord Simpson (1902-1984), Bernhard Rensch (1900-1990) e George Ledyard Stebbins (1906-2000).

Após o estabelecimento da Síntese Evolutiva, na segunda metade do século XX, as discussões sobre os modelos evolutivos continuaram fortes na comunidade científica. Novos paradigmas moleculares e paleontológicos ampliaram a compreensão de evolução, estabelecendo modelos como a chamada Teoria Neutra para Evolução Molecular (KING e JUKES, 1969; CROW e KIMURA, 1970) e o modelo do Equilíbrio Pontuado (ELDREDGE e GOULD, 1972).

No entanto, biólogos evolutivos, filósofos e historiadores da ciência têm mencionado distorções no desenvolvimento da Síntese Evolutiva, com algumas áreas sendo omitidas em favor de outras (ALMEIDA, 2010; ARAÚJO, 2006). Mais recentemente essa questão foi levantada por um crescente número de biólogos com a intenção de atualizar a estrutura conceitual da Biologia Evolutiva (MULLER e PIGLIUCCI, 2010). Uma nova proposta chamada de "Síntese Estendida" é apresentada como uma expansão da Síntese

Evolutiva de 1930/40 e, como sua antecessora, provavelmente levará décadas para ser concluída. Um quadro conceitual mais inclusivo é proposto, contendo, entre outras áreas, a biologia evolutiva do desenvolvimento (“evo-devo”), uma teoria ampliada da hereditariedade, elementos da teoria da complexidade e uma reavaliação dos níveis de seleção (Figura 1).

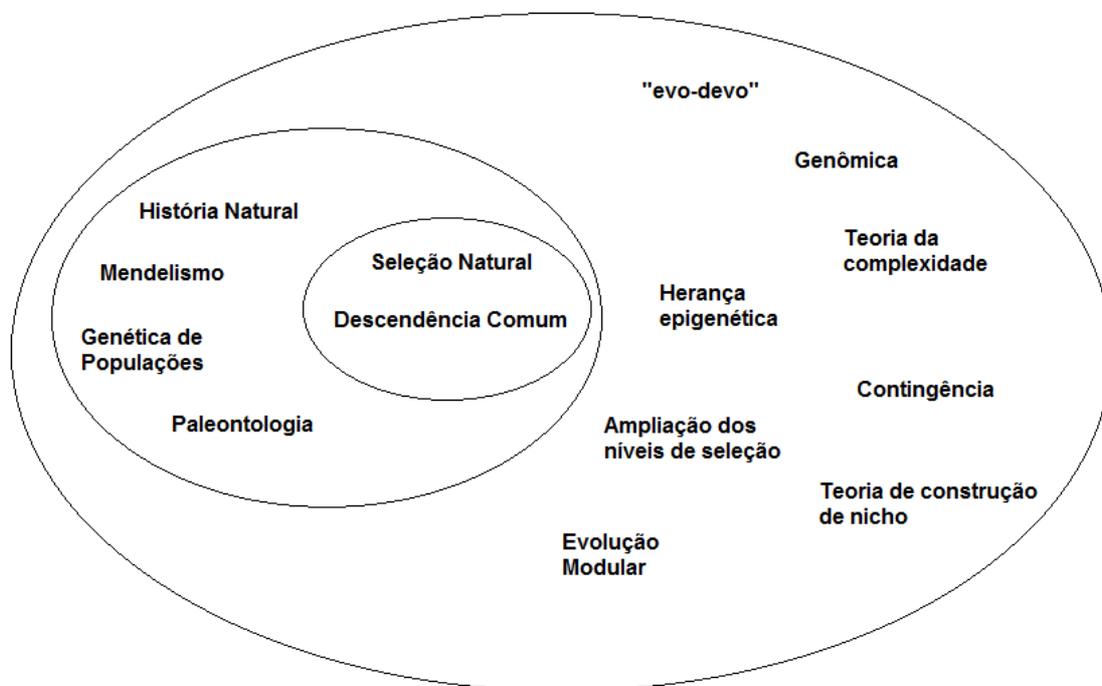


Figura 1. Representação conceitual da contínua expansão da teoria evolutiva em termos de ideias, fenômenos estudados e campos de investigação. Elipse menor: Teoria da evolução darwinista (1859). Elipse intermediária: Síntese Evolutiva (1930s-1940s). Elipse maior: Síntese Estendida (2020). Baseado em Pigliucci (2010).

Segundo esses autores, a teoria evolutiva precisa explicar tanto a evolução em nível molecular quanto em nível morfológico, sendo que a Síntese Evolutiva, devido sua espinha dorsal ser a genética de populações, forneceria um bom arcabouço teórico para a evolução no nível molecular, mas não examinaria suficientemente o nível morfológico. A morfologia, portanto, manteve-se em grande parte periférica em relação aos paradigmas evolutivos até o advento da "evo-devo", em meados da década de 1990 (ROBERT 2004). A exploração satisfatória destas questões é, obviamente, para além do âmbito deste trabalho, mas apenas como exemplo posso citar a obra de Eva Jablonka e Marion Lamb (2010) que levanta a possibilidade de se examinar a evolução em quatro dimensões (sistemas de herança) diferentes: genética, epigenética, comportamental e simbólica. Essa perspectiva, bastante pertinente, nos faz pensar sobre a natureza dinâmica da Ciência, uma vez que tais autoras

afirmam que os processos epigenéticos permitem a herança de características adquiridas, um conceito lamarckiano rechaçado por muitos evolucionistas do século XX.

Por seu caráter interdisciplinar, a evolução biológica é essencial para o distanciamento de uma abordagem desatualizada e mecanicista dos conhecimentos em Biologia. Da mesma forma que não há como conceber Ciência Social sem História, pois faltará uma perspectiva temporal sobre os acontecimentos em curso hoje, para compreender o panorama da Biologia se faz necessário compreender a vida na Terra em termos de sua história - as mudanças nas formas de vida e ecossistemas ao longo de bilhões de anos, bem como os mecanismos que pautaram essas mudanças. Os estudantes de Biologia devem compreender os argumentos evolutivos para explicar, por exemplo, a origem e a distribuição das espécies e muitos aspectos da existência humana, tais como a base biológica da nossa percepção, capacidades emocionais e cognitivas. Idealmente, os alunos também devem adquirir uma apreciação das limitações das explicações evolutivas, evidentes em alguns mal-entendidos, como por exemplo, que pessoas seriam geneticamente determinadas por seus genes egoístas para a ganância, violência e destruição.

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 diversas crenças de fundo religioso, ideológico, filosófico e epistemológico, o que torna sua abordagem em contexto de sala de aula particularmente difícil (OLEQUES, 2011).

## 1.2 Obstáculos à Compreensão do Pensamento Evolutivo

As implicações das teorias evolutivas são muitas, a começar pela substituição de um mundo estático por um mundo evolutivo. Darwin desafiou três componentes principais da crença cristã: demonstrou a não-plausibilidade do criacionismo, a ausência de justificção para um antropocentrismo absoluto e substituiu o essencialismo das coisas vivas pelo pensamento populacional. A proposta de Darwin acabou, assim, abalando o mundo controlado divinamente e contribuindo para a concepção de um mundo secular, operado de acordo com leis naturais. Ernst Mayr (2005) resume algumas crenças sócio-culturais que podem ser afetadas pela teoria evolutiva e, por isso, apresentar resistência de vários setores sociais: *crença em um mundo constante; crença na criação do mundo; crença na posição central do homem no universo; crença na filosofia essencialista; crença em uma interpretação causal da*

*natureza; crença em uma causa final ou teleológica para os fenômenos naturais.*

O mundo visto como algo constante, povoado por espécies imutáveis, que permanecem como Deus as criou e onde o homem ocupa uma posição privilegiada decorre de uma concepção criacionista da vida. A crença na filosofia essencialista tem origem no pensamento aristotélico e platônico, recuperado durante o renascimento, e difundido nas Ciências Naturais. O essencialismo concebe as espécies a partir de uma abstração da natureza, estabelecendo um ideal isolado ou média que passa a ser visto como essência. Assim, a variação entre os indivíduos que constituem o todo da população é ignorada ou pouco valorizada (GOULD, 2001). Esse essencialismo, profundamente enraizado no pensamento ocidental, tem suas origens há mais de dois mil anos atrás e influenciou a sistemática Lineana, como Mayr coloca:

*[...] o conceito tipológico de espécie tem sua origem nas idéias essencialistas de Aristóteles e Platão e foi adotado por Linnaeus para seu sistema de classificação das espécies. Segundo esse conceito, a diversidade observada no universo reflete a existência de um número limitado de tipos básicos. As variações encontradas refletem o resultado de manifestações imperfeitas da idéia implícita de cada espécie. A presença da essência básica é inferida da similaridade e, para o essencialista, semelhança morfológica é, portanto, critério de espécie (MAYR, 1982, p.12).*

O pensamento populacional<sup>1</sup> como substituto do essencialismo de Platão constitui a pedra de toque da revolução darwiniana. A essência foi substituída pela variação como a categoria central da realidade natural. A seleção natural, bem como a existência de registros fósseis de espécies extintas, oferecem evidências satisfatórias para o curso da evolução orgânica e tornam desnecessário invocar forças teleológicas<sup>2</sup> sobrenaturais para explicar a diversidade dos seres vivos.

No entanto, estudos têm demonstrado que uma grande proporção de estudantes em diversos níveis de ensino possuem ideias acerca da evolução biológica diferentes daquelas estabelecidas pela Ciência, geralmente marcadas pela atribuição de finalidade e progresso ao processo evolutivo (SINATRA, 2008; GASTAL, 2009, 2011; SEPULVEDA, 2010; RIBEIRO, 2011; OLEQUES, 2011; BLANCKE, 2012). Esses estudos empregam como

---

<sup>1</sup> Ernst Mayr afirma que uma das maiores contribuições de Darwin foi mostrar aos estudiosos o caminho para o pensamento populacional, que enfatiza a variação entre os indivíduos da população e rejeita o pensamento tipológico, que encara a variação como imperfeição de um tipo ideal.

<sup>2</sup> A teleologia (do grego télos = fim) é uma doutrina que estuda as finalidades, metas e objetivos.

referencial teórico a noção de obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo, como causa da estagnação, inércia e até de regressão na aprendizagem dos conceitos evolutivos.

Para Brousseau (1983), a noção de obstáculo diz respeito ao conhecimento que foi em geral satisfatório por algum tempo para resolver certos problemas, e por esta razão é fixado na mente dos alunos, mas que, posteriormente, revelou-se inadequado e difícil de se adaptar quando o aluno enfrenta novos problemas. Brousseau (1983) acredita que obstáculos encontrados nos estudantes podem ter diferentes origens: epistemológicas, didáticas e ontogênicas. (a) Obstáculos epistemológicos são identificados a partir de pesquisas no campo da História da Ciência e dos processos de construção do conhecimento; (b) obstáculos ontogênicos são constatados em pesquisas que sugerem limitações do tipo neurofisiológico do sujeito e que podem se manifestar em determinados momentos do processo de aquisição do conhecimento; (c) obstáculos didáticos são oriundos das opções e procedimentos didáticos adotados no ambiente de ensino. Embora Brousseau descreva três categorias distintas, às vezes é difícil determinar se um tipo de obstáculo não envolve mais de uma origem, sendo muitas vezes conceitualmente sobrepostas. Nesse estudo utilizamos a ideia de obstáculos ao pensamento evolutivo, fundamentalmente os de origem ontogênica e epistemológica, na análise de livros didáticos de Biologia dirigidos aos estudantes do nível médio.

### 1.2.1 Obstáculos Epistemológicos e Ontogênicos

A epistemologia de Bachelard oferece um embasamento teórico para o debate das dificuldades no ensino-aprendizagem de evolução e as concepções pré-científicas que permeiam esse tema. Bachelard se vale de uma narrativa de construção do conhecimento científico, com as limitações humanas daqueles que contribuíram em cada etapa da caminhada. Bachelard em suas obras, utilizando exemplos da Alquimia e da Física, apresenta a ideia de ruptura e descontinuidade na História da Ciência. Ele argumenta que, como os progressos científicos de modo geral foram muito lentos, os relatos contínuos da ciência acabam proporcionando uma ideia de unidade e continuidade, reforçando a interpretação de que todo o conhecimento científico se origina por lenta transformação de conhecimentos acumulados. Contrário a essa visão de desenvolvimento contínuo do conhecimento científico, Bachelard apresenta a noção de obstáculos epistemológicos, surgidos inevitavelmente na relação dos sujeitos com os objetos do conhecimento, no “âmago do próprio ato de conhecer”.

Bachelard exemplifica a noção de obstáculo epistemológico em sua obra *A Formação do Espírito Científico* (1938). Para ele, são exemplos de obstáculos epistemológicos: a *observação primeira*, que tem a intenção de compreender o real a partir de um dado claro e imediato; o *conhecimento geral*, em que a generalização é capaz de imobilizar o pensamento; o *substancialismo*, que leva à atribuição de qualidades a uma substância; e o *animismo*, que resulta da aplicação da intuição da vida aos mais variados fenômenos. Tais obstáculos, que resultam da própria atividade cognitiva na relação sujeito-objeto, dificultam a abstração e a construção dos objetos teóricos da Ciência.

Inerentes tanto ao desenvolvimento histórico da Ciência, quanto à prática cotidiana da educação, é a superação desses obstáculos que propiciam o avanço do conhecimento. O autor defende uma forma de ensinar em correspondência com a evolução do espírito científico. Segundo o autor, o novo espírito científico é entendido como aquele necessário para o acompanhamento das reconstruções produzidas pela Ciência, sob a ótica da sua História. Essas reconstruções exigem, frequentemente, a substituição de pressupostos e a ruptura com acordos tácitos da comunidade científica.

Sepulveda (2011), a partir da perspectiva dos obstáculos epistemológicos, examina dados empíricos obtidos por meio de questionários respondidos por estudantes brasileiros do ensino médio e do nível superior. Esses questionários auxiliaram no reconhecimento de compromissos epistemológicos e ontogênicos que sustentam a compreensão dos estudantes em temas pertinentes à evolução biológica. Quando analisados os significados atribuídos pelos estudantes em exemplos de “mudança evolutiva” e “adaptação”, foram identificados os seguintes obstáculos epistemológicos/ontogênicos: *ausência de explicação etiológica* - tendência de priorizar a descrição funcional das características adaptativas, e não as explicações causais de natureza etiológica; *finalismo* - a existência das adaptações é compreendida em termos do propósito que pretendem satisfazer; *pensamento essencialista* - a evolução concebida como um processo em que a essência da espécie se transforma ao longo do tempo, a partir da transformação individual de cada organismo, e não como um processo populacional; *erro categórico* - em que há confusão entre o desenvolvimento dos organismos, a ontogenia, e a evolução dos grupos de seres vivos; e *reação ao discurso materialista da ciência* - principalmente devido à noção de que o mundo natural está relacionado, em termos causais, com o sobrenatural (SEPULVEDA, 2011).

Outros trabalhos verificaram como obstáculos epistemológicos/ontogênicos que a grande maioria dos estudantes apresentam compreensões teleológicas - em níveis variados - do processo de seleção natural, além de um olhar linear e progressista da história evolutiva

(GASTAL, 2009; RIBEIRO, 2010).<sup>3</sup>

### 1.2.2 O Pensamento Populacional

O saldo dessas pesquisas demonstra que as dificuldades conceituais em evolução biológica envolvem obstáculos em praticamente todos os níveis da educação. 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 estudantes apresentam.

O pensamento populacional foi imprescindível na história do pensamento evolutivo, possuindo 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, ao qual Mayr chama de essencialista ou tipológico. O pensamento populacional rejeita a ideia de que as espécies possuem tipos ou estados naturais: a variação em uma população não é o desvio de um estado natural da espécie (SOBER, 1983). 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) argumenta que Darwin influenciou o pensamento evolutivo introduzindo a importância da variação nas 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.*

---

<sup>3</sup> Esses obstáculos podem estar por trás do pouco entendimento que o cidadão brasileiro parece ter de evolução biológica. Uma pesquisa feita pelo IBOPE, com dois mil entrevistados nas cinco regiões do país, constatou que 31% dos participantes acreditam que Deus criou o ser humano nos últimos 10 mil anos, da forma como somos hoje; 54% acreditam que o homem vem se desenvolvendo ao longo de milhões de anos, mas Deus planejou e dirigiu esse processo; 9% acreditam que o ser humano vem se desenvolvendo ao longo de milhões de anos, mas Deus não esteve envolvido nesse processo; e 6% não opinaram (IBOPE, 2004). Além dos óbvios fatores religiosos envolvidos, esses resultados podem ser atribuídos ao fato de que muitas vezes o indivíduo responde a uma pesquisa desse tipo sem nem entender porque está sendo perguntado em relação àquilo, o que pode gerar uma resposta superficial e sem reflexão.

*Desta maneira, a variação, que para os essencialistas era irrelevante e acidental, tornava-se agora um fenômeno crucial da natureza viva. (MAYR, 1991)*

No entanto, estudantes em escolas e universidades no Brasil e em outros países não estão expostos aos processos probabilísticos, estatísticos e, por vezes, não direcionais inerentes ao pensamento populacional (LOPES, 1999; THAGARD, 2009; BISHOP, 1990). Parece significativo a dificuldade que os alunos têm em distinguir os mecanismos responsáveis pelo surgimento de novas características em uma população, a natureza aleatória desses mecanismos e o processo de modificação da frequência de indivíduos portadores de determinadas características ao longo do tempo.

A concepção de espécie em termos de essências é um impedimento para a compreensão da seleção natural (SHTULMAN 2006; SHTULMAN & SCHULZ 2008; ZOGZA 2008). Esses estudos sugerem que mesmo quando os alunos aceitam a evolução, eles continuam a acreditar que ela opera em um ideal isolado da espécie (tipológico), em vez de ocorrer nos membros da população. Há evidências de que muitos estudantes veem variação populacional como imperfeição do tipo e não uma parte do processo de mudança evolutiva por si (GREENE, 1990). Nessa perspectiva, quando há geração de variação, ela não é aleatória: somente é criada quando necessária, não sendo um elemento constitutivo das populações.

O raciocínio que envolve o uso de eventos aleatórios têm relevância para o entendimento das populações biológicas em aspectos como o acaso nas mutações<sup>4</sup>, distribuição cromossômica, fecundação e deriva genética. O modelo populacional também requer a apreciação de processos emergentes, aqueles em que grandes efeitos resultam de pequenas operações que são qualitativamente diferentes. Emergente se refere tipicamente à ideia do surgimento de algo novo, que não poderia ser previsto a partir dos elementos que constituíam a condição precedente (THAGARD, 2009). Tais propriedades emergentes são onipresentes no mundo natural, em muitos níveis, incluindo moléculas, células, órgãos, organismos e populações. A evolução de um nova espécie é um processo emergente resultante de pequenas alterações genéticas em um grande número de indivíduos, até que finalmente exista uma população de organismos que não seja mais capaz de cruzamento com membros

---

<sup>4</sup> Grande parte do conhecimento produzido em evolução tem como pressuposto, entre outros aspectos, o fato de as mutações no DNA ocorrerem ao acaso. Por outro lado, a partir de estudos realizados com bactérias levantou-se a possibilidade de mutações dirigidas, considerando a existência de um processo no qual as células realizam mutações em decorrência das alterações no meio em que estão. Esse assunto será melhor debatido posteriormente nesse trabalho.

da espécie anterior.

A vastidão do tempo em que ocorrem muitos processos evolutivos nas populações está completamente fora da experiência de tempo vivenciada pela humanidade. Fazer uma ponte entre as experiências de tempo vividas pelos alunos, com escalas que incorporam o dia, o ano ou o período de uma ou duas gerações, até alguns poucos séculos, e as situações que ocorreram no planeta Terra há milhões de anos é uma tarefa desafiante e cognitivamente exigente. Os eventos evolutivos, como as grandes extinções, estão inacessíveis ao método experimental e requerem uma metodologia totalmente diferente, a das chamadas narrativas históricas. Nesse método, desenvolve-se um cenário imaginário de acontecimentos passados com base em suas consequências. Como defendido por Mariani e Ogborn (1991), o tempo não é apenas um conceito, mas uma “categoria ontogênica fundamental”. Disso decorre, sem dúvida, parte das dificuldades que os alunos demonstram em conceber processos temporais de larga escala na evolução das populações biológicas, os quais são importantes para entender os processos populacionais como dinâmicos (BONITO, 2012).

Sendo assim, a formação do pensamento populacional requer o confronto com o pensamento essencialista e a compreensão do pensamento estatístico, das propriedades emergentes e o contato com narrativas históricas acerca da evolução biológica e do planeta Terra.

### 1.3 Os Livro Didáticos

O livro didático, para muitos professores, estabelece o roteiro de trabalho para o ano letivo, contribui com o planejamento e a organização de atividades em sala de aula e ainda ocupa os alunos na realização das tarefas escolares. Salles e Ferreira (2004) apresentam uma tripla dimensão pedagógica em que se situam os livros didáticos no cenário escolar brasileiro: orientam o currículo escolar e a ação didática, além de serem a fonte de conhecimentos para a própria formação continuada dos professores. Dada a importância dos livros, espera-se que as bases teóricas de determinado tema na Biologia sejam apresentados com a maior acuidade conceitual possível, permitindo aos estudantes o acesso à produção científica, bem como aos tipos de raciocínio e de métodos da Ciência.

No entanto, os materiais didáticos de Biologia não podem ser vistos apenas como dependentes das decisões das comunidades científicas e acadêmicas (MARANDINO, 2009). No campo escolar, o conhecimento biológico, originado nos meios acadêmico-científicos, é recontextualizado pelos professores por meio de suas práticas pedagógicas para atender aos

objetivos educacionais. O material de apoio produzido em dada época e a forma como é utilizado nas atividades escolares também expressam as influências múltiplas que a Biologia escolar vem sofrendo. Interesses econômicos das editoras, critérios de avaliação estabelecidos pelas equipes do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), a qualidade da formação inicial dos professores (os sujeitos que escolhem os livros a serem utilizados pelos alunos), entre outros fatores, são exemplos dessas múltiplas influências que concorrem para a definição dos conteúdos dos livros didáticos e das aulas de Biologia.

Marandino e colaboradores (2009) colocam que os professores de Ciências e Biologia devem compreender os debates sócio-históricos sobre a constituição das disciplinas escolares básicas e que esses debates não podem prescindir da explicitação das finalidades educativas e acadêmicas tanto da seleção de conteúdos quanto das metodologias de ensino empregadas. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, por exemplo, enfatizam que a Evolução é um “elemento central e unificador” no estudo de Biologia (MEC, 2006).

Estudos averiguando a acuidade conceitual presente nos livros didáticos contribuem para o estabelecimento de padrões mais elevados de livros dirigidos ao ensino médio no mercado editorial brasileiro. Rocha e colaboradores (2004), analisando os livros didáticos presentes no PNLEM de 2005, e excluídos da lista de 2007, descrevem alguns equívocos generalizados na forma como a evolução biológica era apresentada nas publicações excluídas da lista dos materiais que o MEC autorizava a aquisição. Mal entendidos de termos científicos em relação ao seu sentido cotidiano, concepção de evolução como equivalente à adaptação ou seleção natural e ideias de que a evolução leva necessariamente a uma maior complexidade são relatadas pelos autores. Análises desse tipo são continuamente necessárias, afinal os livros didáticos aprovados para serem comprados pelo governo brasileiro, e distribuídos em todo o território nacional, devem assegurar acesso ao conhecimento biológico com o mínimo de qualidade conceitual aceitável pelos padrões educacionais atuais.

Considerando o papel central dos livros texto na realidade educacional Brasileira, e a prevalência de conceitos alternativos<sup>5</sup> em relação à evolução biológica entre os estudantes, acredito que o livro didático deve instrumentalizar o processo de mudança conceitual<sup>6</sup> para contribuir com o aprendizado científico dos estudantes de nível médio. Sendo assim, nesse trabalho analisaremos a contribuição (ou a falta dela) dos livros didáticos adotados

<sup>5</sup> O termo conceito alternativo é usado aqui para se referir ao conhecimento dos alunos que pode estar em conflito com aqueles aceitos consensualmente pela comunidade científica.

<sup>6</sup> Os problemas que a epistemologia e a pedagogia contemporânea enfrentam, sob a designação genérica de mudança conceitual, dizem respeito a dispositivos pelos quais conceitos e teorias podem substituir outros conceitos e outras teorias (SANTOS, 1998).

massivamente no sistema educacional brasileiro para a mudança conceitual, necessária ao aprendizado de evolução biológica pelos alunos.

## 2 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo analisar livros didáticos de Biologia do ensino médio do Brasil sob a perspectiva dos obstáculos epistemológicos e ontogênicos ao desenvolvimento do pensamento evolutivo. Um dos principais obstáculos se dá na formação do chamado pensamento populacional. Por contrapor algumas ideias geralmente pré-estabelecidas, como o pensamento tipológico, e envolver diversos conceitos não-intuitivos, como probabilística, tempo geológico e propriedades emergentes, a compreensão dos modelos de populações biológicas é uma tarefa desafiante e cognitivamente exigente. Assim, será avaliada a forma como são apresentadas, pelos livros didáticos, as noções conceituais básicas em Biologia Evolutiva e sua contribuição para o processo de mudança conceitual, tendo em vista os obstáculos ao desenvolvimento do pensamento evolutivo.

## 3 Procedimentos Metodológicos

O problema é averiguado a partir de uma perspectiva qualitativa, na qual os dados - textos, esquemas, desenhos, fotografias - são selecionados, descritos e analisados, a partir da revisão bibliográfica realizada. Considerando um universo amostral abrangente de livros didáticos do sistema educacional brasileiro, procura-se analisar todos os livros integrantes do Guia de Livros Didáticos para a Biologia, do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, 2012 (PNLEM-2012):

Título	Autores	Ano	Editora
BIO vol.2	Sérgio Rosso e Sônia Lopes	2010	Saraiva
BIOLOGIA vol.3	César, Sezar 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	Gewandsnajder e Linhares	2010	Ática
NOVAS BASES DA BIOLOGIA vol.3	Bizzo	2010	Ática
SER PROTAGONISTA - BIOLOGIA	Catani, Bandouk, Carvalho et.al	2010	SM

A análise examina a forma como os seguintes conceitos e processos evolutivos são abordados nos livros didáticos: seleção natural, variação genética e fenotípica, adaptação, espécie, especiação, filogenia, migração e deriva genética. A partir da análise dos conteúdos selecionados, é discutida a contribuição dos livros didáticos para a mudança conceitual e a construção do conhecimento pelos alunos. Também é analisado se o contexto populacional relacionado a esses conceitos é explorado nas definições e nas representações propostas nos livros.

A coleta de dados é realizada de um modo sistematizado de varredura em sessões determinadas, definidas pela estrutura dos livros (volumes, unidades, capítulos, anexos, etc) e pela distribuição do conteúdo curricular. Os conceitos abordados apresentam uma alta probabilidade de se encontrar em unidades e capítulos com títulos tais como: genética de populações, evolução biológica e formação de espécies, que se localizam, em geral, no volume sobre Genética de Populações e Evolução. Por isso, nos livros analisados, essas unidades são cuidadosamente revisadas. Com a finalidade de verificar a acuidade conceitual apresentada nos livros didáticos, é utilizado como parâmetro os seguintes livros de referência básica na área de evolução biológica do ensino superior: *Análise Evolutiva*, de Jon C. Herron e Scott Freeman (2010) e *Evolução* - Mark Ridley (2010); além, é claro, de todas as outras referências bibliográficas citadas.

#### **4 Resultados e Discussão**

A análise procura descrever e examinar os principais conceitos evolutivos nos oito livros didáticos de Biologia destinados ao ensino médio, avaliados e recomendados pelo PNLEM-2012. Cada conceito é discutido quanto aos resultados mais prevalentes encontrados nos livros didáticos, considerando as concepções alternativas para a construção do conhecimento por aqueles que utilizam os livros – os alunos. Para uma melhor reflexão, conceitos intimamente relacionados são tratados em um mesmo tópico na análise qualitativa. Ao final, é discutido possíveis formas de intermediar o processo de mudança conceitual pelos livros didáticos de Biologia para os principais conceitos em evolução biológica.

## 4.1 Análise qualitativa

### 4.1.1 Seleção Natural, Variação Genética e Fenotípica

Darwin em *A Origem das Espécies* (1859) foi o primeiro autor a expor detalhadamente o processo e as implicações da seleção natural. De acordo com Mayr (1982), a ampla discussão de Darwin sobre a seleção natural pode ser desdobrada em cinco "fatos" (ou seja, observações diretas) e três inferências associadas (anexo 1). Alguns componentes do processo, em especial as fontes de variação e os mecanismos de herança, foram, devido à pouca informação disponível para Darwin em sua formulação original, suscetíveis à críticas ou incorretas. Desde então, cada um dos aspectos centrais do mecanismo tem sido elucidados e bem documentados, tornando a moderna teoria da seleção natural muito mais detalhada e apoiada em evidências empíricas do que quando proposta pela primeira vez, há aproximadamente 150 anos. Nas obras de referência do ensino superior as acepções de seleção natural apresentam-se da seguinte forma:

*É o processo pelo qual aquelas formas de organismos de uma população que estão mais bem-adaptadas ao ambiente aumentam em frequência relativamente às formas menos bem-adaptadas, ao longo de uma série de gerações* (RIDLEY, 2008, p. 701)

*Os postulados de Darwin, asserções sobre a natureza das populações, são as seguintes: (1) Nas populações, os indivíduos são variáveis. (2) As variações entre os indivíduos são transmitidas, pelos menos parcialmente, dos genitores à prole. (3) Em cada geração, alguns indivíduos são mais bem-sucedidos do que outros na sobrevivência e reprodução. (4) A sobrevivência e a reprodução dos indivíduos não são aleatórias; ao contrário, estão ligadas às variações individuais. Os indivíduos com variações mais favoráveis, aqueles que são melhores em sobreviver e reproduzir-se, são selecionados naturalmente. Se esses postulados forem verdadeiros, a composição de uma população muda de uma geração para outra.* (HERRON & FREEMAN, 2009, p. 364)

Muitos dos equívocos 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 idéias intuitivas quando os estudantes se deparam com dificuldades em explicar algum fenômeno (DEADMAN e 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 entendimento mais correto do processo. Vejamos como a seleção natural é explorada nos livros didáticos de ensino médio:

*Os organismos vivos têm grande capacidade de reprodução. Poucos indivíduos, no entanto, chegam à idade de procriação, já que a quantidade de alimento que existe no ambiente é limitada. Isso ocorre porque organismos que têm as mesmas necessidades alimentares competem entre si, "lutando" constantemente pela sobrevivência. Outro fato é a existência de variações hereditárias (transmitidas aos descendentes) dentro de um mesmo grupo. Em certo ambiente, algumas são mais favoráveis do que outras. Assim, organismos que apresentarem variações mais favoráveis em determinado ambiente terão maiores probabilidades de sobrevivência e reprodução do que os demais. Além disso, transmitirão essas características a seus descendentes. Dessa forma, cada geração ficará mais adaptada às condições ambientais. (CESAR e SEZAR, 2010, p. 214)*

A acepção de seleção natural no livro didático de César e Sezar (2010) não explicita o contexto populacional em que tal mecanismo ocorre. Os autores utilizam o termo "grupo" quando se referem à existência das variações hereditárias. O aluno pode associar um "grupo" como sendo um apanhado de várias espécies, ou até níveis superiores da organização biológica, tais como classes ou filós. Desde Darwin (1859), a teoria da evolução tem sido baseada fortemente no pensamento populacional, que enfatiza as diferenças entre os indivíduos da população. Neste caso, o "grupo" pode ser concebido como exibindo um "tipo" único ou uma "essência" comum, sendo a variação entre os indivíduos interpretada como algo anômalo ou como desvio sem importância das características essenciais da espécie. Como Shtulman (2006) observa, "os seres humanos tendem a essencializar espécies biológicas e é incompatível o essencialismo com a seleção natural".

A ênfase dos autores no processo de competição apenas para o suprimento de necessidades alimentares do "grupo", assim como a afirmação de que a cada geração o "grupo" ficaria mais adaptado às condições ambientais, também são discutíveis. A aptidão evolutiva de um organismo não indica apenas a sua capacidade alimentar, mas sim a sua capacidade de transmitir seus genes para a próxima geração. Isto nem sempre se correlaciona com a velocidade, a força ou o tamanho dos indivíduos, concepções comuns entre os estudantes quando questionados a respeito da seleção natural (KAMPOURAKIS, 2011).

Uma compreensão adequada da seleção natural também deve reconhecê-la como um processo que ocorre dentro das populações ao longo de muitas gerações. Ela se dá através

do cumulativo e estatístico efeito 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. Mas, de acordo com os modelos teóricos aceitos pela comunidade científica, deveria ser compreendida como um processo probabilístico em que algumas características adaptativas tornam mais prováveis - mas não garantem - que os organismos detentores dessas características irão reproduzir-se com sucesso. Além disso, a natureza estatística do processo é tal que mesmo uma pequena diferença no sucesso reprodutivo (por exemplo, 1%) é suficiente para produzir um aumento gradual da frequência de uma característica em uma população, ao longo de muitas gerações. Apesar de a "sobrevivência do mais apto" ser o lema comum da seleção natural nos livros didáticos, a "sobrevivência da aptidão suficiente" é mais precisa. Na maioria das populações, organismos com diversas variações genéticas sobrevivem, reproduzem e deixam descendentes que carregam seus genes para a próxima geração. A ideia que parece predominante nos livros didáticos é que simplesmente um ou dois indivíduos "melhores", na população, passam seus genes para a geração seguinte.

Lopes e Rosso (2010), na unidade três, capítulo doze, quando relatam os princípios básicos da seleção natural, são dos poucos autores de livros didáticos que citam a ocorrência da seleção natural de geração em geração, além de explicitar seu contexto populacional:

*os indivíduos de uma mesma população apresentam variações em todos os caracteres, não sendo, portanto, idênticos; os organismos têm grande capacidade de reprodução, produzindo muitos descendentes, mas apenas alguns deles chegam à idade adulta; o número de indivíduos de uma população é mantido mais ou menos constante ao longo das gerações; assim, há disputa pela vida entre os descendentes, pois, apesar de nascerem muitos indivíduos, poucos atingem a maturidade, o que mantém constante o número de indivíduos na população; nessa disputa, organismos com variações favoráveis às condições do ambiente onde vivem têm maiores chances de sobreviver quando comparados aos organismos com variações menos favoráveis; os organismos com essas variações vantajosas têm maiores chances de deixar descendentes; como há transmissão dos caracteres de pais para filhos, estes apresentam essas variações vantajosas; ao longo das gerações, a atuação da seleção natural sobre indivíduos da população propicia adaptação destes ao meio e pode levar ao surgimento de novas espécies. (LOPES E ROSSO, 2010, p. 447)*

Os autores, além de mencionarem as variações individuais dentro de uma população, apontam a competição entre os indivíduos. Na mesma página, os autores também apresentam exemplos de seleção além daqueles relacionados à competição por alimento,

como a coloração e sua associação com a seleção sexual (LOPES e ROSSO, 2010, p. 447).

Catani (2010), também deixa claro que a seleção natural ocorre ao longo de gerações, emprega o termo população, e a ideia de variação entre os indivíduos; no entanto, ao mencionar a competição por recursos limitados entre os indivíduos de uma população, restringe a ênfase nas necessidades alimentares:

*Segundo Darwin e Wallace, o que "determina" a evolução por seleção natural é o ambiente e seus diversos fatores, entre os quais a disponibilidade de alimentos. Resumidamente, as ideias básicas da evolução por seleção natural são as seguintes: os indivíduos de uma determinada população apresentam variações que os tornam diferentes entre si. Essas variações são hereditárias, ou seja, são passadas de pais para filhos. O crescimento das populações tende a ser maior do que a oferta de alimento. Esse crescimento gera competição entre os organismos pelos recursos ambientais, sempre limitados. Os organismos que apresentam características vantajosas para competir pelos recursos escassos têm mais possibilidade de sobreviver e reproduzir-se. Assim, os descendentes herdam essas características. Com o passar das gerações o processo se repete. Indivíduos portadores das características vantajosas sobrevivem e se multiplicam, deixando mais descendentes, cada vez mais adaptados às condições ambientais (CATANI, 2010, p. 146)*

Pezzi, Gowdak e Mattos (2010) ressaltam a variabilidade populacional, mas, por outro lado, não mencionam que o processo de seleção natural ocorre ao longo das gerações, o que dá margem para que os alunos concebam esse processo como um único evento 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 e MATTOS 2010, p. 72)*

Esse exemplo reforça uma concepção alternativa comum entre os estudantes a respeito do processo de seleção natural, o qual é erroneamente visto como um evento único e não como um processo que acontece ao longo das gerações na população (SINATRA, 2008). O problema de conceber o processo de seleção natural como um episódio, decorre da conotação de que um episódio é um evento de curta duração com início e fim, em uma ordem sequencial específica, consistindo de distintas ações que poderiam ser orientadas para uma finalidade específica.

Em contraste, a seleção natural é compreendida como um processo que ocorre continuamente e simultaneamente dentro de populações inteiras e esse processo não é

orientado para objetivos finais. Interpretar a seleção natural como um episódio pode contribuir para o pensamento transformacionista das adaptações, aqueles que aparentemente ocorrem em toda a população simultaneamente. Considerar a seleção natural como um único episódio pode também levar os estudantes a pensar de um modo "saltacionista", em que complexas características adaptativas aparecem repentinamente em uma única geração.

Frequentemente, nos livros didáticos, encontram-se exemplos e descrições de seleção natural como um processo que "escolhe" entre as variantes "preferidas" ou como um processo que "controla" ou "explora" opções diferentes. Outras expressões, tais como "selecionado para" são usadas comumente em Biologia Evolutiva e, embora não pretendam atribuir consciência à seleção natural, podem ser mal interpretadas por não-especialistas, como os estudantes de nível médio.

Sendo como é, o resultado do sucesso reprodutivo diferencial devido às características hereditárias, pré-existentes na população, a seleção natural não pode ter planos, metas ou intenções, nem pode causar mudanças em resposta a necessidades. Alguns autores lamentam a tendência da linguagem em invocar descrições teleológicas e antropomórficas ao processo de seleção natural, pois argumentam que isso acaba servindo para reforçar equívocos entre os estudantes (BISHOP, 1990; SINATRA, 2008).

Formulações propostas em uma perspectiva pragmática podem ter algum valor em manuais didáticos para descrever fenômenos complexos de uma forma simples, precisamente porque correspondem ao padrão normal de pensamento. Considero o seu emprego como um exercício útil durante a instrução apenas quando em contraste com a linguagem precisa. Em qualquer caso, os autores dos livros didáticos e os professores em sala de aula devem estar cientes dos riscos que esses atalhos podem representar aos estudantes. Isso se deve porque aparentemente a psicologia humana inclui um poderoso viés sobre "propósitos" ou "funções" a objetos e comportamentos. Essa tendência para explicações baseadas em propósito (teleologia) é muito profunda e persiste em pessoas com alguma formação científica de base (SINATRA, 2008).

Quando processos como a seleção natural são pensados teleologicamente, eles são, muitas vezes, enquadrados em termos de mudanças em resposta a necessidades particulares. Um poderoso viés em concordância com a teleologia é o antropomorfismo, em

que intenções conscientes são atribuídas ao processo de seleção natural. Nesse sentido, equívocos antropomórficos podem ser caracterizados tanto como internos (atribuindo-se mudanças adaptativas a ações intencionais dos organismos) quanto como externos (considerando-se a "natureza" um agente consciente) (SINATRA, 2008). Intenções conscientes são reforçadas nos livros quando palavras como "inovação", "invenção" e "solução" são usadas. Assim, a utilização de palavras que corriqueiramente dotam consciência a processos ou ações devem ser evitadas nos livros didáticos quando se trata a seleção natural.

Amabis e Martho (2010), quando tratam da seleção natural, adotam uma linguagem antropomórfica na legenda de uma fotografia que representa uma situação de predação, ao afirmarem que os guepardos "desempenham seu papel" no processo de evolução das espécies por seleção natural. Os autores não explicam, por exemplo, que as gazelas, doentes, ou com menos condições de escapar, por serem mais lentas ou demorarem mais para perceber a presença do predador, serão eliminadas e, portanto, terão menores chances de deixar descendentes:



Figura 7.7 Um guepardo, ao atacar um bando de gazelas, está desempenhando seu papel no processo de evolução das espécies por seleção natural. Fotografia tirada no Parque Nacional Serengeti, Tanzânia.

(AMABIS e MARTHO, 2010, p. 168)

Pensar teleologicamente contrasta com as explicações evolutivas que propõem um processo de duas etapas, envolvendo: (1) mutações aleatórias, sem direção pré-determinada, seguidas por (2) seleção natural. As mutações, que produzem a variação entre os indivíduos, é um requisito fundamental para a compreensão das mudanças evolutivas. Dada a sua importância para a teoria da seleção natural, não deve ser surpreendente que Darwin empregou considerável esforço na tentativa de estabelecer

que a variação é, de fato, ubíqua na seleção natural.

Hoje em dia é bem entendido que a herança opera através da replicação de seqüências de DNA e que erros neste processo (mutações) e o rearranjo das variantes existentes (recombinação) representam as fontes de novas variações. Em particular, mutações são conhecidas por serem aleatórias com relação a quaisquer efeitos que elas possam ter. Qualquer mutação é apenas um erro de chance no sistema genético, e como tal, a sua probabilidade de ocorrência não é influenciada pelo seu possível efeito prejudicial, benéfico ou neutro. Embora a origem de uma nova variante genética aconteça em termos aleatórios em relação aos seus efeitos sobre o organismo, a probabilidade de sua segregação para a próxima geração não é aleatória se ela afeta a sobrevivência e a capacidade reprodutiva desse organismo. A seleção não é suficiente para proporcionar um mecanismo para mudanças evolutivas, pois não haveriam consequências evolutivas se todos os indivíduos fossem idênticos. Por outro lado, a variação genética por si só também não resulta na seleção natural, a menos que tenha impacto na sobrevivência e reprodução do organismo.

No entanto, interpretações alternativas dos alunos assumem que as mutações ocorrem como resposta aos desafios ambientais e, por conseguinte, são sempre benéficas. Veja o exemplo de Cesar e Sezar (2010, p.223), na unidade três, capítulo dezessete, que reforça essa interpretação:

### Mutações: benéficas ou prejudiciais?

Não se mexe em time que está ganhando", diz um ditado popular. Isso também é verdade em relação a um organismo com composição genética normal. Qualquer alteração nos seus genes – ou mutação –, que ocorre normalmente de forma casual, leva, quase sempre, a resultados desfavoráveis. É por esse motivo que devemos evitar, a todo custo, a exposição a fatores mutagênicos. Para qualquer organismo, a habilidade de "driblar" as mutações é de extrema importância. Para cumprir essa função, as células contam com verdadeiras "enzimas de reparação", que consertam a maioria dos defeitos no DNA tão logo eles ocorrem.

Os autores apresentam um certo dualismo quando consideram as mutações: elas são benéficas ou malélicas. Não é dada a devida atenção nesse exemplo para a geração aleatória

das mutações; seu surgimento agregado com seu possível efeito fenotípico pode levar ao engano comum de que a geração de variabilidade é preditiva. Além disso, as mutações neutras são esquecidas e com elas importantes teorias evolutivas, como a teoria neutralista da evolução.

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 ao texto principal 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 Cesar e Sezar:

*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.* (CESAR e SEZAR, 2010, p 224. Grifos do autor).

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, Gowdak e Mattos (2010) também exploram pouco 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 e MATTOS 2010, p. 75)

Os autores também 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.

Um outro aspecto que chama a atenção está relacionado ao fato de a maioria dos autores tratarem a geração de variabilidade genética desatrelada da variação fenotípica. O livro didático de Catani (2010), na página 152, foi um dos poucos livros a relacionar a variação genética entre indivíduos com os fenótipos correspondentes, mas, apresenta fenótipos de pouca importância aparente para mudanças evolutivas por seleção natural<sup>7</sup>:

*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*

De modo geral, a variabilidade de características fenotípicas humanas é tomada como exemplo de diversidade biológica em diversos livros. Essa tendência pode ser constatada nos exemplos a seguir:



(CATANI, 2010, p. 152)

---

<sup>7</sup> Essas características podem ter importância na seleção sexual dos seres humanos.



(MENDONÇA E LAURENCE, 2010, p. 242)



(AMABIS e MARTHO, 2010, p. 163)

Os exemplos de variabilidade populacional através de pessoas representativas de diversas origens étnico-raciais podem ser efetivas, uma vez que os humanos possuem habilidades cognitivas que permitem usar pistas faciais (e outras somáticas) para avaliar traços de outras pessoas, tais como sexo, idade, saúde ou 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 (UNDURRAGA, 2010).

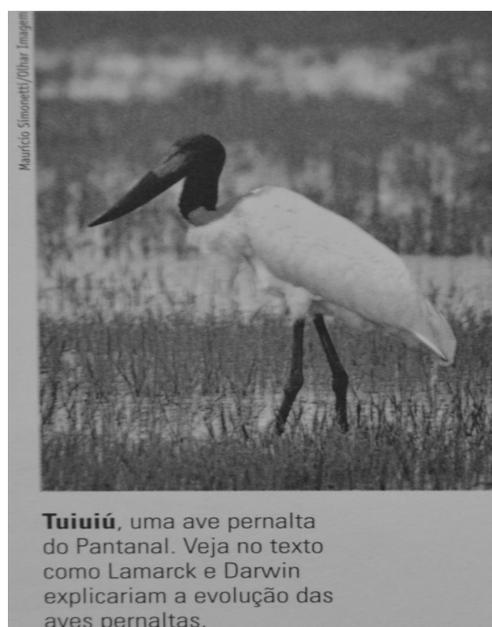
Contudo, essa abordagem pode apresentar um certo viés, pois os alunos podem considerar que os outros organismos não apresentam variação biológica, uma vez que não são facilmente perceptíveis aos olhos humanos. Outras características, que poderiam ser mais relevantes para seleção natural, relacionadas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

seleção natural.

A importância da singularidade dos indivíduos para a evolução, segundo Ernst Mayr, foi reparada detalhadamente por Darwin, que também ilustrou a variação daqueles organismos menos aparentados com o homem:

*[...] 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. (MAYR, 1991)*

Nos capítulos analisados dos livros didáticos, infelizmente, em nenhum momento imagens ou descrições ressaltam a variação em características específicas de populações reais não humanas. Pelo contrário, quando são retratadas outras espécies, geralmente demonstra-se apenas um indivíduo tipo. Catani (2010), por exemplo, apresenta uma ave brasileira para hipoteticamente representar como Darwin e Lamarck explicariam a evolução das aves pernaltas. Na ilustração, os autores representam essa espécie com a imagem de apenas um organismo, portando a referida adaptação, o que acaba reforçando a crença incorreta de que todos os indivíduos dessa população seriam uniformes. Isto contrasta com a compreensão "variacional" da seleção natural:



(CATANI, 2010, p. 152)

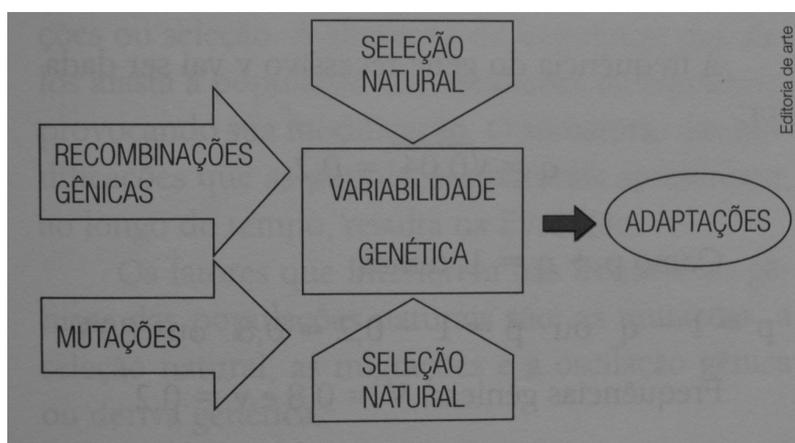
Apesar de a grande maioria dos livros não deixar clara a natureza aleatória das variações e a relação com a variabilidade fenotípica, alguns autores exploram esquemas

demonstrando a ação da seleção natural nas variantes presentes em determinadas características. No esquema abaixo, de Mendonça e Laurence (2010), observa-se a representação de 5 variantes de uma característica e a seleção de duas delas:



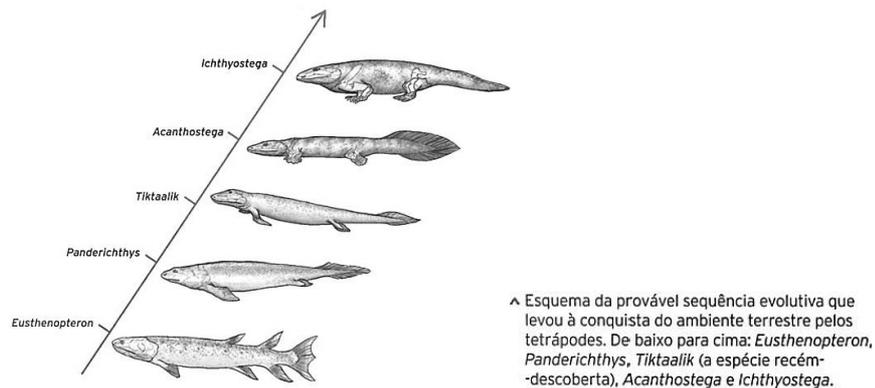
(MENDONÇA E LAURENCE, 2010, p. 242)

Outro esquema organizado nessa linha é o mapa conceitual extraído do livro de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010), em que é possível a interpretação de que as recombinações gênicas e as mutações produzem a variabilidade genética. O único problema é que nesse exemplo a seleção natural parece atuar diretamente sobre a variabilidade genética, gerando adaptações:



(PEZZI, GOWDAK e MATTOS, 2010, p. 75)

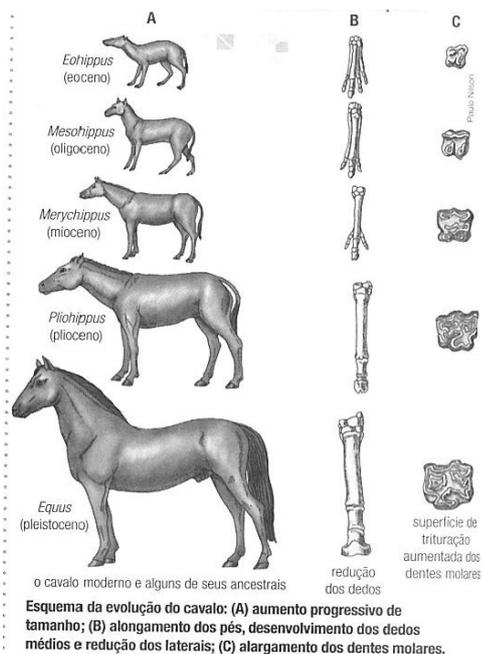
O problema da diversidade populacional não ser representada, nos textos, esquemas e outras ilustrações, se estende para os casos em que os autores exploram as espécies fósseis nos livros didáticos. Seguidamente tem-se uma sequência ascendente de espécies, ou níveis taxonômicos acima, ao longo do tempo geológico, com apenas alguns grupos sendo representados. Catani (2010), aborda a história evolutiva da linhagem dos tetrápodes ao longo do tempo, com apenas um indivíduo representando cada período geológico:



(CATANI, 2010, p. 178)

O esquema explora a conquista do ambiente terrestre pelos tetrápodes. Observe que claramente os grupos, de cada etapa, são apresentados por indivíduos únicos que indicam uma tendência (progressiva) para a formação dos membros, cabeça e o corpo achatado. Todavia, os achados paleontológicos evidenciam que nos últimos 300 milhões de anos houveram períodos de crescimento e declínio dessas características. Na representação anterior, são focalizadas particularidades ou abstrações selecionadas de um conjunto de fósseis, desses grupos de tetrápodes, as quais conduzem à interpretação de que indivíduos percorreriam linearmente um estágio até os outros subsequentes. Se fosse demonstrada a variação dos tetrápodes, constatada por meio dos fósseis localizados, bem como sua amplitude de modificação ao longo do tempo, outra história evolutiva poderia ser contada, bem diferente dessa, que apresenta essa linhagem como se essas formas de vida se deslocassem para algum objetivo pré-determinado.

Outra representação que segue nessa linha é explorada por Pezzi, Gowdak e Mattos (2010), quando os autores ilustram a evolução do cavalo:



(PEZZI, GOWDAK e MATTOS 2010, p.17)

O exemplo da evolução do cavalo representa uma tendência para a diminuição dos dedos, o alargamento dos dentes molares e o aumento da altura, sendo o gênero equus representado como se fosse o ponto final de uma série que percorreu um objetivo. Como Gould (2001) ressalta, a evolução do cavalo teve períodos de crescimento e declínio dessas características durante os últimos 55 milhões de anos, o que faz com que a história contada dessa maneira seja totalmente enviesada. Gould (2001) alerta que devemos apreciar a primazia da variação dos sistemas biológicos e que é necessário deixar de lado exemplares para representar a totalidade da variação. Para Gould, esse olhar enviesado da história da vida é um produto da vaidade humana, com a intenção de validar nossas esperanças sobre a intrínseca importância do homem, nosso desejo preconceituoso e subjetivo de designar como principal um efeito que produziu a vida humana.

Geralmente 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 que aparecem 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 evolutiva da vida.

Apesar dessas questões que podem enviesar o entendimento dos alunos em evolução, algumas discussões interessantes sobre as implicações da natureza variacional das populações constam em dois livros distintos. Lopes e Rosso abrem o capítulo de evolução com uma interessante discussão acerca da variação das populações, contrastando o

pensamento populacional e o tipológico.

*As espécies eram consideradas grupos estáticos de organismos, semelhantes a um tipo ideal e imutável, caracterizadas por uma essência própria. As variações entre os membros seriam apenas acidentais, e não essenciais. Essa maneira de pensar constitui-se o que se chama de essencialismo. O essencialista não aceita a variação, pois para ele a variabilidade é acidental e irrelevante [...] A aceitação dos processos evolutivos veio relacionada com a substituição do pensamento tipológico pelo populacional: ao estudar uma população, vemos que os indivíduos apresentam pequenas variações entre si. O pensamento tipológico utiliza conceitos de tipos imutáveis e descontínuos, tornando impossível a aceitação da evolução. Já o pensamento populacional enfatiza as variações existentes entre os indivíduos. (LOPES E ROSSO, 2010, p. 432)*

Bizzo (2010), também inicia o capítulo de evolução discutindo o pensamento populacional:

### ■ Multiplicação de espécies: o pensamento populacional

A evolução ocorre em populações, quando se altera a proporção de indivíduos com certas características. As características que se tornam mais presentes na população podem conferir apenas um pouco de vantagem em relação aos demais indivíduos, e não necessariamente deixar o indivíduo perfeitamente adaptado ao meio.

Essa forma de pensar a evolução era bastante original e explicava a razão de Darwin acreditar que o tempo geológico tinha de ser extremamente longo. Em vez de indivíduos que, de um instante para o outro, tornavam-se perfeitamente adaptados ao meio, o pensamento darwinista considerava mudanças nas proporções de indivíduos entre gerações, o que implicava um processo bem mais lento que o lamarquista. Além disso, os seres vivos não estariam perfeitamente adaptados ao meio.

Embora a evolução darwiniana seja frequentemente exemplificada com situações insulares, como nas ilhas Galápagos (que veremos adiante), Darwin trabalhou também com a ideia de que as espécies poderiam se formar sem nenhum tipo de isolamento geográfico. Com a ajuda de um grande botânico amigo, Joseph Hooker, Darwin investigou se as plantas que ocupavam um grande ambiente contínuo se mantinham como uma espécie única ou se, com o tempo, se tornavam espécies diferentes. Sua conclusão foi francamente positiva.

(BIZZO, 2010, p.221)

Além disso, o autor ressalta fatos históricos relacionados às concepções da idade da Terra e dos organismos fósseis, discutindo as correntes uniformitaristas e catastrofistas dos fenômenos geológicos, além de situar as descobertas de Darwin em um contexto histórico.

Catani (2010), explora uma questão histórica importante que envolve diretamente a variabilidade humana. Como esse tema, em particular, apresenta fortes implicações políticas, é de suma importância sua discussão nos livros didáticos:

### Biologia se discute

#### O darwinismo social

No século XIX, surgiu o darwinismo social, que consistia na utilização distorcida e equivocada das ideias de Darwin para justificar as relações de dominação e desigualdade entre classes sociais ou nações.

Essa doutrina explicava a concentração de riquezas postulando que indivíduos mais aptos prosperam e enriquecem, enquanto os menos aptos permanecem condenados à pobreza. Assim, comunidades pobres ou etnias de países localizados fora do continente europeu eram

consideradas menos evoluídas e primitivas, enquanto pessoas pertencentes às classes ricas eram tidas como evoluídas e bem-adaptadas ao ambiente. Esse pensamento fortalecia o racismo, além de legitimar a exploração de pessoas e a colonização de países.

Os preceitos propostos pelo darwinismo social são falsos, uma vez que a origem da desigualdade econômica entre indivíduos, grupos ou países não é evolutiva e está relacionada, entre outros fatores, a razões sociais, políticas e históricas.

(CATANI, 2010, p. 149)

No exemplo acima, embora o autor afirme que as desigualdades sociais decorrem de fatores sociais, políticos e históricos, os mecanismos que produzem as desigualdades sociais não são explorados, nem os motivos pelos quais o darwinismo social não se justifica biologicamente, deixando de oferecer subsídios para que o leitor supere esse tipo de raciocínio. Exemplos desse tipo infelizmente são isolados no conjunto das obras examinadas e não parecem constituir uma preocupação dos autores quando da elaboração da unidade sobre a Teoria da Evolução. Para tratar adequadamente esse tema, talvez os autores biólogos precisassem recorrer à colaboração de historiadores, sociólogos e antropólogos, o que, inclusive, favoreceria a proposição de projetos de estudos interdisciplinares nas escolas de Educação Básica.

Baseado nas pesquisas sobre concepções alternativas, acredita-se que o ensino-aprendizagem da seleção natural deveria incluir esforços para identificar, enfrentar e suplantar equívocos dos alunos. A maioria destes derivam de concepções alternativas profundamente arraigadas, que vêm sendo 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, em um contexto em que visões histórico-sociais também estão em construção. 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 provavelmente servem para reforçar esses problemas. A exploração mínima ou pouco satisfatória da variação populacional também representa uma grande lacuna na abordagem dos livros didáticos em evolução biológica de forma geral.

#### 4.1.2 Adaptação

No livro *A Origem das Espécies* Darwin descreve adaptação, na verdade co-adaptação, como um dos tipos de relações entre os organismos cruciais para sua existência. Ele observou que:

*[...] um corolário da mais alta importância, isto é, que a conformação de cada ser organizado está em relação, nos pontos mais essenciais e algumas vezes contudo mais ocultos, com a de todos os seres organizados com os quais se encontra em concorrência para a sua alimentação e habitação, e com a de todos aqueles que lhe servem de presa ou contra os quais tem de defender-se* (DARWIN, 2003, p.77).

Na área da Filosofia da Biologia tem havido muito debate sobre a definição adequada do conceito de adaptação. A definição de adaptação pode envolver processos históricos ou não-históricos (LEWENS, 2007). De acordo com a definição histórica, uma característica não é uma adaptação apenas porque confere alguma vantagem para seus portadores, mas porque seus ancestrais 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 nenhuma referência ao passado, apenas considerando-se a vantagem de um traço que atualmente é selecionado positivamente. Um ponto crucial de ambas definições é que a população se adapta, não os indivíduos.

Nas obras de referência do ensino superior as acepções de adaptação aparecem da seguinte forma:

*Uma característica, ou um conjunto integrado de características, que aumenta a aptidão de seu possuidor; é denominada adaptação, e se diz que é adaptativa.* (HERRON e FREEMAN, 2009, p. 364)

*Uma particularidade de um indivíduo que permite que ele sobreviva e reproduza melhor em seu ambiente natural do que se não a possuísse.* (RIDLEY, 2008, p. 701)

Essas acepções são claramente não-históricas. No entanto, o conceito de adaptação é explorado em diversos momentos nessas obras, de um ponto de vista tanto histórico quanto não-histórico. Em contrapartida, os livros didáticos de ensino médio seguidamente apresentam apenas definições não-históricas do processo de adaptação, recorrendo a definições históricas mais raramente. 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 e LAURENCE, 2010, p. 222)*

Repare que o conceito de adaptação para os autores é claramente não-histórico. Ainda, na definição, não há menção do contexto populacional no processo adaptativo; no lugar dessa, os autores referem-se às espécies. Nesse caso, os alunos podem considerar as adaptações da espécie como sendo características tipo, imutáveis, não sujeitas à variação. Os autores também referem que o processo de adaptação "harmoniza" os indivíduos ao ambiente, reforçando concepções teleológicas.

A obra de Cesar e Sezar é uma das poucas que apresenta uma definição histórica de adaptação, enfatizando as adaptações em um contexto populacional:

*[...] Essas mudanças (evolução) **quase sempre** tornam as espécies mais aptas a sobreviver no seu ambiente. A palavra chave, aqui, é **adaptação**. Note que não estamos falando de adaptação de um **indivíduo** ao ambiente, e sim, da adaptação da **população**. Ficamos bronzeados quando nos expomos ao Sol é um exemplo de adaptação individual. Isso não tem nenhuma relação com a adaptação evolutiva, que é muito lenta e torna as **populações** mais encaixadas, ajustadas em seu ambiente com o passar do tempo. Em outras palavras, torna-as mais **adaptadas**. (CESAR e SEZAR, 2010, p. 202. Grifos do autor)*

Os autores tentam desfazer a comum confusão entre adaptação ontogenética e filogenética. No entanto, ao afirmar que as populações tornam-se mais "encaixadas", "ajustadas" ao ambiente com o passar do tempo, induzem interpretações teleológicas.

Outro problema 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. A direção na qual a mudança adaptativa ocorre é dependente do ambiente, sendo que uma mudança ambiental pode fazer traços anteriormente benéficos serem neutros ou prejudiciais (ou vice-versa). Adaptações não resultam em características ótimas. Elas são limitadas pelas restrições históricas, genéticas e desenvolvimentais. Talvez isso não fique claro na definição anterior, e nem tampouco nas apresentadas nos outros livros didáticos, uma vez que o ambiente quase sempre é retratado como imutável e as adaptações como não-históricas ou prospectivas.

Catani (2010) explora o conceito de adaptação explicitando aspectos importantes como a variabilidade populacional, descendência ao longo das gerações e o contexto ecológico:

*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 (CATANI, 2010, p. 147)*

No entanto, assim como nas obras dos demais autores, o ambiente é descrito como algo estático, ao qual as populações cada vez mais "se adaptam". Isso foi apresentado de forma diferente somente na obra de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010):

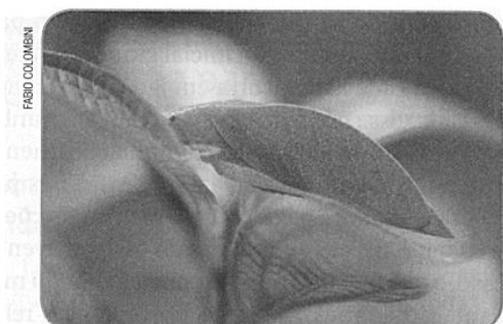
*O efeito da seleção sobre variações genéticas surgidas ao acaso nas populações têm sido claramente confirmado por inúmeras experiências. Micro-organismos, como vírus e bactérias, são os que melhor se prestam a esses tipos de experimento, pela rapidez com que produzem novas gerações e se adaptam a mudanças ambientais pela seleção de mutações favoráveis (PEZZI, GOWDAK e MATTOS, 2010, p. 75)*

Além disso, como ponto positivo, os autores citam o uso de experiências para averiguar as adaptações. A importância de citar o uso de experiência no estudo das adaptações se dá pelo fato de os estudantes suporem que todas as características dos organismos devem ser adaptáveis de alguma forma. Apesar de alguns traços serem adaptáveis, é importante que os alunos tenham em mente que muitos traços não são adaptações. Alguns desses podem ser resultado do acaso na história evolutiva. Outros traços podem ser subprodutos de alguma característica. Por exemplo, a cor do sangue não é adaptável. Não há nenhuma razão para que o sangue vermelho seja melhor do que o sangue verde ou o azul. A vermelhidão do sangue é um subproduto da sua composição química, o que faz com que ele reflita a luz vermelha. A química do sangue pode ser uma adaptação, mas a cor do sangue não (KAMPOURAKIS, 2011).

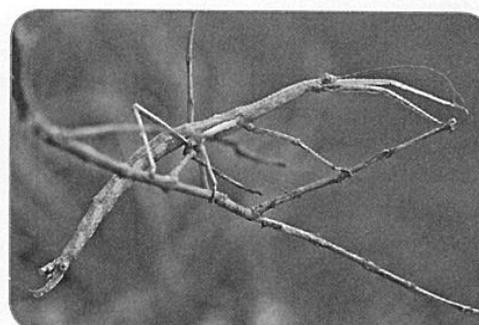
Essas considerações ocorrem na Biologia Evolutiva acerca do alcance da seleção natural para explicar a diversidade de formas do mundo vivo. Quando pensa-se que a produção direta de adaptações através da seleção natural é a causa primária da maioria das características biológicas relevantes, constitui-se a chamada visão adaptacionista. De outro lado, pode-se dar ênfase à influência na evolução de outros fatores não-adaptati-

vos, como a deriva genética, exaptações (uma característica que realiza uma função, mas que não foi selecionada originalmente por ela) e as restrições ao processo evolutivo. Este debate conduz naturalmente à uma controvérsia acerca do poder explicativo da seleção natural e do papel epistemológico do conceito darwinista de adaptação na Biologia (SE-PULVEDA e EL-HANI, 2008). Considerando esse debate, os livros didáticos analisados parecem bastante alinhados com a visão adaptacionista.

Outro aspecto que não fica claro nos livros é que o processo de adaptação por seleção natural não é prospectivo e não pode produzir características que se tornam benéficas em algum momento futuro. Esse é o maior problema com definições não-históricas de adaptações, pois a maioria dos autores utilizam exemplos de traços complexos para ilustrar características adaptativas, sem mencionar sua possível história evolutiva. Esse problema pode ser constatado nos exemplos abaixo:



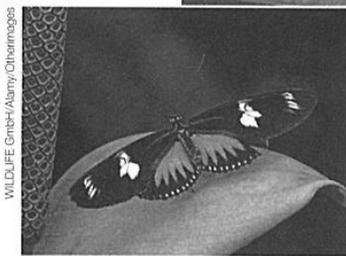
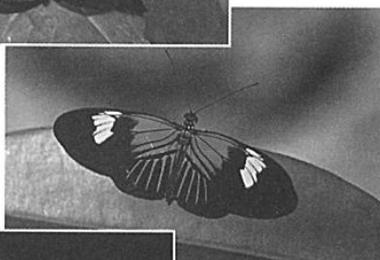
Fotografia de inseto semelhante a uma folha (bicho-folha). Mede cerca de 6 cm de comprimento.



Fotografia de inseto semelhante a gravetos (bicho-pau). Mede cerca de 6 cm de comprimento.

(LOPES e ROSSO, 2010, p. 451)

No mimetismo mülleriano (estudado por Müller) dois ou mais indivíduos de espécies diferentes têm em comum, por exemplo, um sabor horrível ou um odor repugnante. Um pássaro insetívoro, ao atacar qualquer um dos indivíduos daquele conjunto, “aprende” a evitar os demais indivíduos do grupo.



**Mimetismo mülleriano:** as três espécies não são palatáveis e qualquer uma que seja atacada pelo predador fará com que ele evite as demais.

Há plantas que imitam animais, principalmente insetos, para garantirem a polinização. Certas orquídeas, por exemplo, têm o labelo (pétala mais desenvolvida e colorida) semelhante às fêmeas de alguns insetos. Tentando copular com a falsa fêmea o inseto encosta nos sacos polínicos da flor, que se prendem nele. Visitando outras flores, o inseto constitui um eficiente agente de polinização.

### ... E por falar em...

*... Müller, você sabia que esse naturalista fez contribuições importantes para a teoria de Darwin?*

Neste ano em que se comemoram o bicentário do nascimento de Charles Darwin e os 150 anos do livro *A origem das espécies*, poucos sabem como ideias inovadoras e transformadoras do pensamento humano nessa área chegaram ao Brasil. Na realidade, elas foram introduzidas por um

(PEZZI, GOWDAK e MATTOS, 2010, p. 80)

pesquisador alemão, naturalizado brasileiro, conhecido por Fritz Müller, personagem excêntrico e progressista que viveu boa parte de sua vida em Santa Catarina, entre Blumenau e Nossa Senhora do Desterro, antigo nome de Florianópolis. Müller deixou uma obra naturalística enorme, que contribuiu para fundamentar e enriquecer a teoria da Evolução das espécies por seleção natural de Darwin e projetou o Brasil no cenário da culta ciência europeia. Infelizmente, o legado de Müller é pouco conhecido entre nós, mesmo entre a comunidade de biólogos e professores que não divulgam sua obra.

[...]

Fritz Müller estudou e descreveu vários grupos zoológicos, principalmente invertebrados marinhos. Tinha um talento incomum para o desenho e suas descrições eram sempre permeadas de ilustrações de incrível detalhamento. Em Desterro estabelece correspondência com várias eminências científicas da época, destacando-se sua extensa e contínua correspondência com Charles Darwin que se estende por 17 anos, até a morte do naturalista inglês em 1882. Foi em Desterro que F. Müller atingiu reconhecimento na comunidade científica internacional sendo conhecido por Fritz Müller – Desterro, codinome proposto por Ernst Haeckel (pai do termo Ecologia), para distingui-lo de outros notáveis homônimos alemães.

[...]

Dentre as inúmeras contribuições de Müller destaca-se ainda o reconhecido fenômeno do mimetismo mülleriano, citado em todos os livros de biologia evolutiva. Quantos biólogos brasileiros sabem que esse fenômeno foi proposto pelo Fritz Müller de Blumenau/Desterro?



Séo. XIX. Coleção particular

(BARRACCO, Margherita Anna; ZILLIG, Cezar. *Scientific American Brasil*. São Paulo: Duetto Editorial, ano 7, n. 84, maio 2009. p. 78, 79 e 81.)

**Fritz Müller, naturalista brasileiro, chamado por Darwin de “Príncipe dos observadores”.**

Tomemos o interessante exemplo de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010). Como ponto positivo os autores discutem o mimetismo mulleriano e a história do seu estabeleci-

mento conceitual, enfocando as contribuições do naturalista Fritz Muller que viveu em território brasileiro no século XIX. No entanto, quando tratam de explicar o mimetismo não explicitam como essa característica poderia ter surgido ao longo da história evolutiva. Esse exemplo mostra um equívoco ao abordar os processos evolutivos, enfatizando a *priori* o ajuste do traço ao seu uso corrente e inferindo, a partir disso, uma narrativa exclusivamente seletcionista.

Da sequência lógica desse exemplo decorre a interpretação de que os indivíduos das espécies de borboletas teriam a coloração de advertência para indicar aos predadores que são impalatáveis. Esta asserção é lógica, mas incorreta de um ponto de vista biológico. Certamente é um fato que indivíduos dessas espécies indicam sua impalatabilidade por meio da coloração de advertência. Mas esta frase não é a mesma da anterior. Estruturas tem um papel causal na produção de função, mas não o contrário. O surgimento de uma estrutura do corpo de uma espécie não é explicada pela sua função. De uma maneira genérica, não só nesse livro como na grande maioria, os autores explicam a origem das adaptações por meio da seguinte sequência lógica: "Os indivíduos da espécie A têm a estrutura B a fim de executar a função C". Uma resposta mais correta para a pergunta "Por que indivíduos da espécie A têm a estrutura B?" pode ser a seguinte: "Os indivíduos da espécie A tem a estrutura B porque B emergiu em seus ancestrais e porque, possivelmente, mas não necessariamente, contribuiu para a sobrevivência de seus descendentes em um ambiente particular e foi, então, selecionado". A existência de uma estrutura nos indivíduos de uma determinada espécie em um ambiente particular pode ser explicada por um processo histórico através do qual surgiu e se espalhou como uma consequência da função que ele executa. A análise funcional por conta própria pode ser bastante liberal, uma vez que pode explicar qualquer sistema, como por exemplo, que a função de determinadas mutações é o de promover a formação de tumores (KAMPOURAKIS, 2011).

Dadas as concepções progressistas e teleológicas que os estudantes intuem para a adaptação, qualquer definição de adaptação deve incluir algumas informações sobre sua história evolutiva, o que em nenhum livro didático examinado ocorre. A evolução é um processo histórico e, conseqüentemente, há uma dependência causal sobre condições antecedentes ou eventos particulares. Assim, os alunos não devem simplesmente aprender, por exemplo, que a resistência aos antibióticos é uma adaptação bacteriana, uma vez que aumenta a sobrevivência e reprodução de determinadas bactérias em um determinado

ambiente. Eles também precisam entender como isso acontece. Assim, os estudantes precisariam aprender que as bactérias individuais não se adaptam aos antibióticos, mas que dentro de sua população alguns indivíduos possuem resistência a antibióticos. Estes indivíduos sobrevivem enquanto os não-resistentes morrem. Conseqüentemente, é a população bacteriana que eventualmente adapta-se aos antibióticos.

O processo pelo qual tal adaptação pode ter surgido são omitidos na definição não-histórica da adaptação de uma característica. Assim, os alunos podem pensar que qualquer processo pode estar envolvido no surgimento da adaptação, não necessariamente um evolutivo e, é claro, não só a seleção natural. Conseqüentemente, a definição não-histórica de adaptação priva os alunos da compreensão de mecanismos naturais através dos quais as adaptações são produzidas. Para evitar isso, algumas referências explícitas a processos históricos são necessárias em qualquer definição de adaptação.

Se a adaptação só é definida como uma característica que contribui para a sobrevivência de seus possuidores, e aos alunos não são dadas quaisquer informações sobre os processos históricos que levam ao fato de tal característica vir a ser prevalente na população, os alunos podem inferir que há um propósito ou *design* na natureza. Isso se deve à tendência que muitos alunos apresentam de explicar adaptações em termos teleológicos, deduzindo 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 é que existiria um agente consciente, 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 abandonar a linguagem 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 em outros conceitos centrais em Biologia como células, órgãos, organismos, ecossistemas, etc... que normalmente são ensinados antes dos conteúdos de evolução. Os livros e os professores não devem apresentar as adaptações como características que servem a um propósito (por exemplo, as asas são adaptações para o voo porque as aves usam para este fim). Uma instrução não teleológica poderia apresentar as adaptações como características que evoluíram porque conferiam uma van-

tagem para seus possuidores (as asas, por exemplo, são adaptações para o vôo pois esta característica conferiu uma vantagem para os ancestrais das aves e, conseqüentemente, tornou-se predominante nos ancestrais que originaram as aves com asas; se toda essa linhagem agora usa as asas para voar ou não, como pinguins e avestruzes, é outra história). Assim, o que parece ser necessário é que a definição de adaptação forneça a referência, pelo menos implícita, de algum processo histórico e natural, para que nenhuma inferência a propósito de *design* na natureza seja necessário para explicar a sua existência (KAMPOURAKIS, 2011). Deve-se sempre tomar cuidado também com os sintomas linguísticos antropomórficos, que geralmente incluem frases como "Para que" (versus "porque") ou "a fim de" (versus "aconteceu") ao explicar adaptações.

Com preocupações nesse sentido, Mendonça e Laurence (2010) apresentam uma louvável iniciativa:

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?

**Linguagem finalista**

Quando nos referimos ao fenômeno da adaptação, identificando, por exemplo, a relação entre forma e função, precisamos tomar muito cuidado com a linguagem finalista.

A seleção natural resultou, por exemplo, na forma tão comum e conhecida da maioria das folhas de angiospermas: achatada e fina. Ela é, sem dúvida, favorável à recepção de luz, à transpiração e à ocorrência de trocas gasosas com o ambiente. No entanto, cuidado: as folhas não ficaram com essa forma para exercer essas funções; não podemos atribuir intenções às folhas ou ao processo evolutivo. Elas são assim porque foram selecionadas positivamente pelas condições da natureza: em meio a tantas possíveis formas e tamanhos de folhas, permaneceram as que estavam mais adaptadas. Em regiões de inverno rigoroso ou de radiação solar muito intensa durante o dia (regiões muito quentes e secas), a maioria das plantas possui folhas alongadas, em forma de espinhos, pois nessas condições uma ampla superfície achatada seria desvantajosa.

A natureza não cria formas para depois escolher entre elas; ela escolhe entre as formas existentes, que surgem pelos diversos mecanismos evolutivos.

Assim também é com as mutações gênicas: elas não ocorrem para adaptar os indivíduos ao ambiente; ocorrem ao acaso, podendo gerar características diversas. Sobre essas características atua a seleção natural: aquelas que favorecem a adaptação do indivíduo ao meio ambiente tendem a ser mantidas e as que forem desvantajosas para os indivíduos tendem a ser eliminadas.

(MENDONÇA e LAURENCE, 2010, p. 251)

Alguns importantes aspectos que evitam interpretações finalistas são explorados no excerto anterior, como a natureza aleatória das mutações e o caráter histórico (mesmo que implícito) relacionado ao surgimento das adaptações foliares.

Lopes e Rosso também contribuem nesse sentido discutindo a teleologia e alguns

sintomas linguísticos relacionados:

*Charles Darwin evitou em seus trabalhos publicados utilizar o termo "evolução" para não ficar implícita a ideia de progresso ou aperfeiçoamento, referindo-se ao processo como "descendência com modificação". O resultado da evolução biológica não é a perfeição nem o progresso [...] deve-se evitar dizer que uma espécie "desenvolveu" uma adaptação, ou que os organismos "tentam" ou "querem" se adaptar, o que seria um linguajar finalista, com um fim determinado (LOPES e ROSSO, 2010, p. 447).*

Apesar dessa iniciativa, não houve um maior aprofundamento no texto sobre o porquê das adaptações não possuírem uma finalidade. Para uma compreensão mais adequada do tema seria necessário um maior espaço no texto, possibilitando o confronto de concepções.

Esse tipo de iniciativa, assim como o cuidado com a linguagem teleológica e os processos históricos que levam às adaptações deveriam ser melhor exploradas nos livros didáticos. Considerando os dados sobre concepções alternativas relacionadas com o conceito de adaptação é possível afirmar que os livros didáticos pouco contribuem para uma mudança conceitual e, por vezes, reforçam concepções alternativas.

#### 4.1.3 Especiação e o Conceito de Espécie

O conceito de espécie é fundamental para a Biologia, assim como os conceitos de energia e átomo são fundamentais para a Física e a Química, respectivamente. As discussões e estudos sobre o conceito de espécie tem dominado a Biologia por alguns séculos, gerando durante esse tempo concepções diferentes. Linneaus, Darwin, Mayr, Simpson, entre outros, lançaram ideias sobre o conceito de espécie, mas nenhum deles conseguiu ser amplamente convincente sobre questões básicas como o que é uma espécie ou como devemos identificá-la (HEY, 2001). Em sua breve história, o campo da Biologia Evolutiva também não encontrou um consenso para essas duas questões. Os conceitos biológico, ecológico e fenético de espécie são os mais utilizados, tanto que são mencionados em ambas as obras de referência do ensino superior<sup>8</sup> (HERRON e FREEMAN, 2010; RIDLEY, 2010). Na prática, contudo, as espécies são reconhecidas e definidas por suas características fenéticas. O conceito fenético de espécie está em concordância com o pensamento tipológico sobre a diversidade biológica, subjacente à

---

<sup>8</sup> O conceito biológico de espécie as define em termos de intercruzamentos. As espécies também podem ser definidas ecologicamente pelo compartilhamento de um nicho ecológico e pelos atributos fenéticos compartilhados (RIDLEY, 2010).

chamada "morfologia idealista", em que deve haver espécimes tipo para que uma espécie possa ser definida.

Existe uma concordância na literatura de que a distinção fenética sozinha não é adequada para a definição de espécie (HEY, 2001). O pensamento tipológico divide a variação da espécie entre os espécimes tipo representativos, os membros mais "verdadeiros" de sua categoria, e os desviantes acidentais, membros que não reúnem todas as características da categoria. O contraponto à distinção fenética é o que considera as variações intraespecíficas, o pensamento populacional, o qual considera todos os indivíduos de uma espécie como espécimes igualmente representativos. Sendo assim, a definição morfológica de espécie deve levar em conta fatores ecológicos, geográficos, genéticos, entre outros.

Apesar dessa pluralidade de definições e da importância do conceito de espécie em Biologia e, particularmente, em Biologia Evolutiva, grande parte dos livros didáticos de ensino médio não apresentam qualquer definição de espécie nos capítulos sobre teorias evolutivas. A palavra espécie é bastante referida no corpo dos textos, quase como um conhecimento tácito dos leitores. Este aparente consenso também se faz presente quando alguns livros definem formalmente espécie: geralmente uma simplificação do conceito biológico. Veja a definição de Gewandsnajder e Linhares (2010):

*Conjunto de indivíduos capazes de cruzar entre si e gerar descendentes férteis* (GEWANDSNAJDER e LINHARES, 2010, p.356)

Essa definição de espécie pode parecer adequada - e para muitos organismos (por exemplo, mamíferos) funciona bem - mas em muitos outros casos é difícil de se aplicar. Por exemplo, bactérias protozoários, fungos e vários invertebrados se reproduzem assexuadamente, muitas plantas e alguns animais formam híbridos na natureza. Como poderia, então, o conceito biológico de espécie ser aplicado nesses casos?

Os conceitos de espécie são confusos porque os seres humanos os inventaram na tentativa de atingir uma compreensão sobre a diversidade do mundo natural. É difícil obter um consenso nesse sentido, porque o termo espécie reflete nossas tentativas de dar nomes distintos para diferentes partes da árvore da vida - que não é discreta em tudo, mas uma trama contínua, conectada a partir das raízes aos ramos.

Os manuais escolares de Mendonça e Laurence (2010) e de Catani (2010) foram os únicos, dentre os examinados, que, ao invés de trazer um conhecimento pronto de espécie procuraram fazer com que o aluno reflita sobre os diversos conceitos. Dos

variados conceitos de espécie, Mendonça e Laurence incluíram o conceito filogenético, que deriva de um campo relativamente recente da Biologia, a Sistemática Filogenética ou Cladística. Catani (2010) também enriquece sua obra ao discutir de maneira crítica o conceito fenético e biológico de espécie.

Bizzo, apesar de não apresentar algum conceito de espécie, relativiza sua definição, reforçando um caráter crítico do conhecimento biológico:

*A definição de espécie está longe de ser um assunto livre de controvérsias. Embora reconheçamos algumas espécies com facilidade, isso nem sempre é assim. A definição depende da importância que se atribui a uma ou outra características dos seres vivos. (BIZZO, 2010, p. 239)*

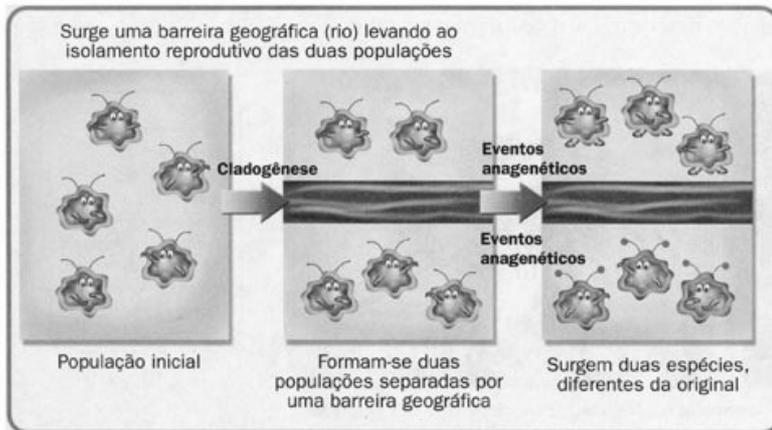
Por outro lado, os demais autores simplificam ou não definem espécie, apesar de continuamente remeterem a esse termo quando discutem diversos processos biológicos. Normalmente quando as espécies são representadas ou descritas têm-se uma "morfologia idealista", em que se recorre a espécimes tipo para representar uma determinada espécie, como no exemplo de Lopes e Rosso (2010, p. 439):



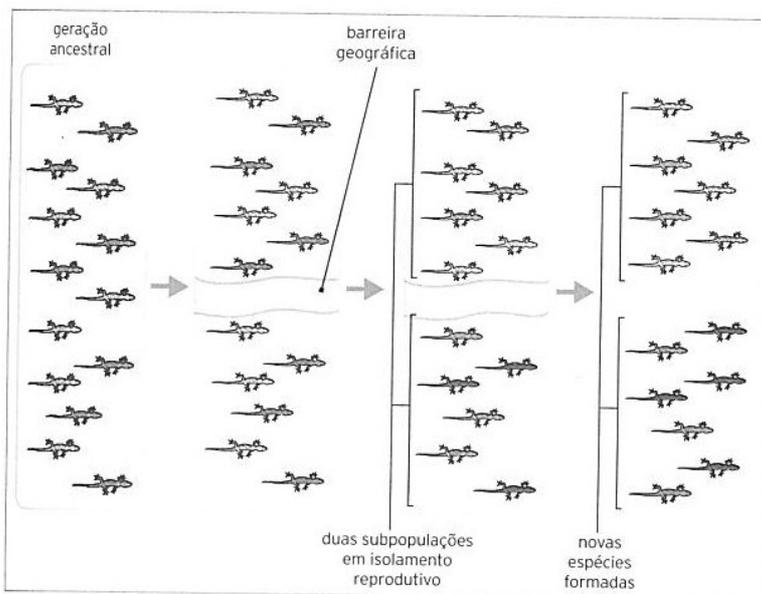
Fotografia de ave pernalta.

Esse tipo de abordagem reforça o pensamento tipológico e ignora a variação intraespecífica. As implicações para o ensino exclusivo da definição tipológica de espécie é relevante, uma vez que essa definição pode dificultar a compreensão de processos em Biologia Evolutiva em que a variação intraespecífica precisa ser observada. A especiação é um desses processos, pois a variabilidade é necessária para a ocorrência de divergência entre populações. Neste aspecto observa-se uma incongruência, pois a maioria dos livros didáticos considera as espécies tipologicamente,

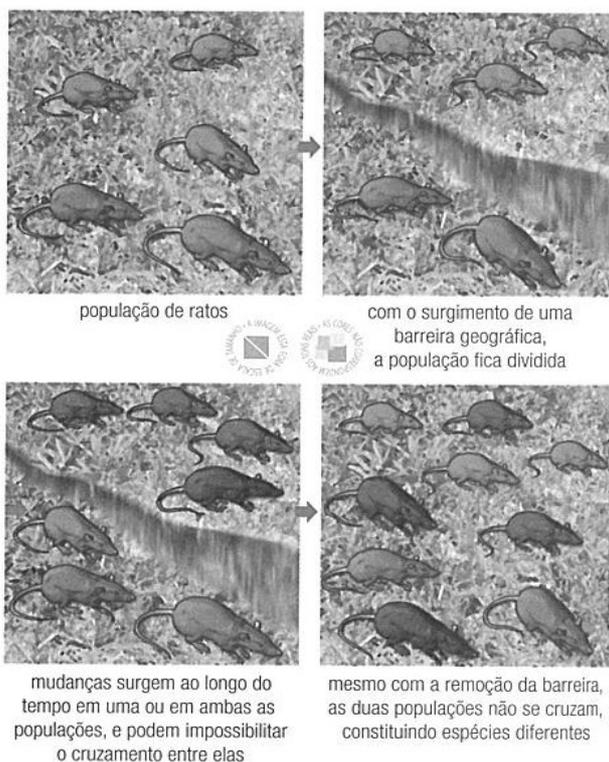
mas no processo de especiação ressaltam a importância da variação intraespecífica, como podemos constatar nas ilustrações e definições abaixo:



(MENDONÇA E LAURENCE, 2010, p. 250)

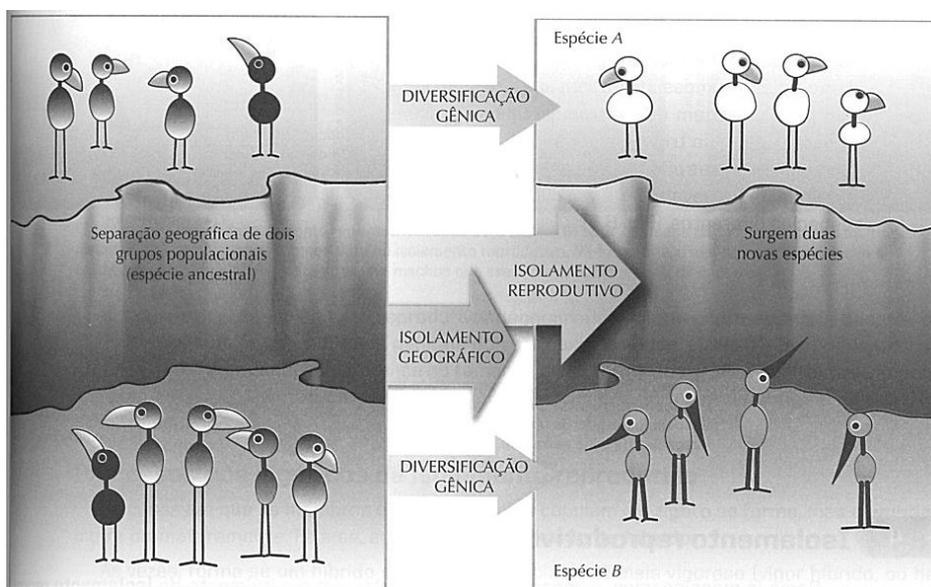


(CATANI, 2010, p. 165)



**Esquema da ocorrência do isolamento geográfico culminando com o isolamento reprodutivo.**

(PEZZI, GOWDAK e MATOS, 2010, p. 82)



(AMABIS e MARTHO, 2010, p.189)

*A atuação de pressões seletivas intensas pode ter vários efeitos nas populações: adaptação rápida às novas condições, mudanças para outro ambiente ou, se a pressão não for suportada, extinção. De uma população inicialmente homogênea podem derivar novos grupos, que não mais se cruzam e passam a constituir novas espécies. Diz-se, então, que há especiação, ou seja, formação de novas espécies (PEZZI, GOWDAK e MATOS, 2010, p. 82)*

*Especiação é a formação de duas ou mais espécies a partir de uma linhagem ancestral.* (CATANI, 2010)

Apenas Catani (2010) representa nas ilustrações a variabilidade entre os indivíduos das populações e subpopulações previamente à especiação. Nos outros exemplos, os alunos podem pensar que a mudança evolutiva em uma população geneticamente isolada resulta de uma proposital busca de adaptação a um novo ambiente, uma vez que a variabilidade parece surgir em decorrência de um desafio ambiental. A origem aleatória da variação precisaria ser enfatizada nas explicações e imagens, para que os alunos possam perceber que os indivíduos com características hereditárias adaptativas ao novo ambiente vão ocorrer em uma proporção crescente na população. Caso contrário, os estudantes podem pensar erroneamente que as alterações ambientais desencadeariam a mudança evolutiva, a qual originaria características favoráveis em todos os membros da população

A adoção da perspectiva evolutiva que considera o organismo como o *locus* privilegiado do fenômeno biológico é característicos de teorias transformacionistas da evolução, as quais são consideradas como teorias não-darwinistas (CAPONI, 2005; ALMEIDA e EL-HANI, 2010). As teorias transformacionais, conforme afirmam Lewontin (1985) e Sober (1998), procuram explicar a evolução de um sistema em virtude de mudanças conjugadas que ocorrem em todos os componentes do sistema (indivíduos). Nas ilustrações dos livros didáticos, destacadas anteriormente, as espécies são consideradas como formadas por indivíduos tipos e, no processo de especiação, cada indivíduo transforma-se para se adequar ao novo ambiente. Assim, a explicação do fenômeno evolutivo parece ser feita simplesmente congregando as narrativas de processos individuais de desenvolvimento em uma explicação do fenômeno coletivo. Nesse sentido, de certa forma, os livros didáticos reforçam um caráter transformacionista da especiação.

Em contrapartida, como Caponi (2005) explica,

*A teoria darwinista da evolução baseia-se em um modelo variacional de mudança, no qual o fenômeno evolutivo não pode, nem necessita, ser explicado por agregação de narrativas de processos individuais de transformação. A população modifica-se, não porque cada indivíduo passa por desenvolvimentos paralelos durante a vida, mas porque existe variação*

entre os indivíduos e algumas variantes produzem mais descendentes do que outras.

Nenhum desses aspectos parece claro nas discussões dos livros didáticos sobre especiação.

Outro aspecto importante é que o processo de especiação geralmente é apresentado como de natureza atemporal, o que pode dificultar a compreensão de que características complexas podem evoluir por seleção natural. Seria importante ressaltar que as vias bioquímicas complexas, características morfológicas, fisiológicas, traços ou comportamentos podem evoluir por seleção natural, passo a passo, conferindo vantagens adaptativas ao longo do tempo. Dessa forma, a especiação através do isolamento geográfico e da seleção de indivíduos portadores de características adaptativas aos novos ambientes poderia fazer sentido, de modo a serem superadas concepções transformacionistas da especiação.

#### 4.1.4 Filogenia

Uma única ilustração é apresentada no livro *A Origem das Espécies* de Charles Darwin, publicado pela primeira vez em 1859:

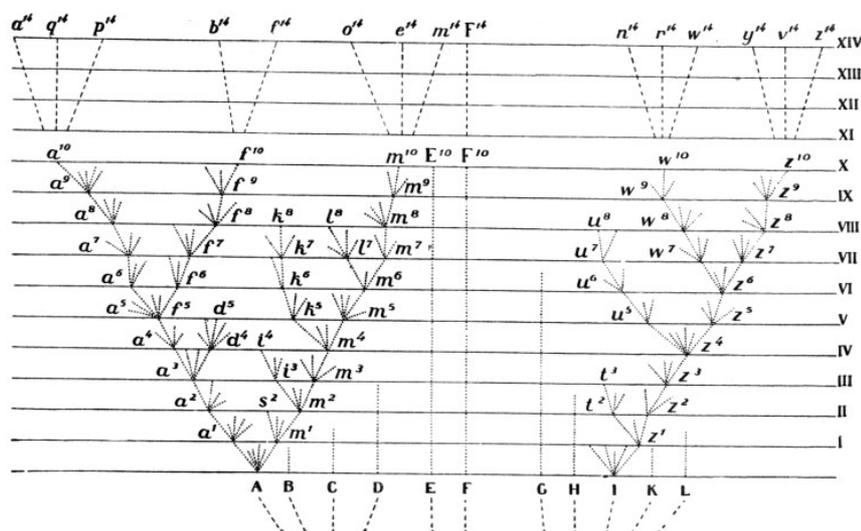


Diagrama das Gerações

(DARWIN, 2003, p.572)

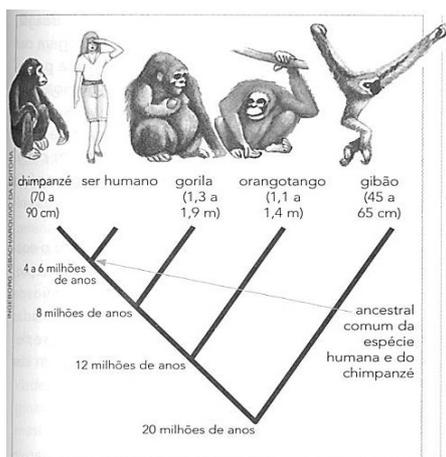
A figura em questão mostra ramificações em uma árvore através do tempo, com linhagens hipotéticas divergindo e novas espécies surgindo. A metáfora de uma árvore foi importante no pensamento de Darwin sobre a história de vida. Ele escreveu:

*Da mesma forma que os gomos produzem novos gomos, e que estes, se são vigorosos, formam ramos que eliminaram de todos os lados os ramos mais fracos, da mesma forma creio eu que a geração atua igualmente para a grande árvore da vida, cujos ramos mortos e quebrados são sepultados nas camadas da crosta terrestre, enquanto que as suas magníficas ramificações, sempre vivas e renovadas incessantemente, cobrem a superfície (DARWIN, 2003, p. 148)*

A Biologia Evolutiva mudou consideravelmente ao longo dos últimos 150 anos, mas o conceito de árvore da vida permanece central. Um campo inteiro surgiu, o das filogenias (*Phyle*, tribo + *gênese*, nascimento), cujo foco é hipotetizar relações evolutivas que refletem ramificações diagramáticas das árvores evolutivas. O resultado das árvores filogenéticas são as representações mais diretas do princípio da ancestralidade comum, o cerne da teoria evolutiva. Contudo, infelizmente, quando se trata de interpretar árvores filogenéticas há vários equívocos cometidos pelos estudantes (RODRIGUES, 2011; MEIR, 2007).

Os livros didáticos do ensino médio, na unidade de evolução, geralmente ignoram as filogenias ou as apresentam superficialmente e/ou imprecisamente. De modo geral não há instruções de como interpretar as filogenias, servindo essas quase como ilustrações perdidas no texto. O livro didático de Gewandsnajder e Linhares (2010) é um dos poucos que apresenta uma definição de filogenia, explicitando a ideia de descendência com modificação a partir de ancestrais comum, além de ilustrar essa relação através de uma árvore filogenética do ramo dos primatas:

*[...]espécies semelhantes seriam descendentes de uma espécie ancestral comum, existente no passado, e teriam surgido por meio de uma série de modificações. Essa é a ideia de descendência com modificação a partir de um ancestral comum, defendida por Darwin. [...] Essas relações podem ser representadas por um esquema, conhecido como **árvore filogenética**. (GEWANDSNJADER e LINHARES, 2010, p. 134)*

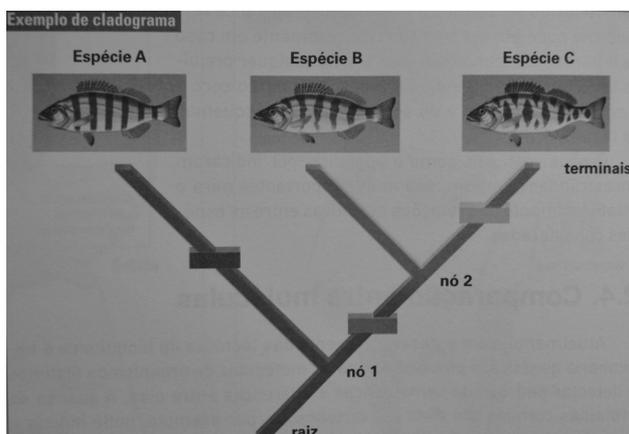


► Fig. 9.7 Árvore filogenética simplificada indicando o parentesco evolutivo entre a espécie humana e outras espécies de primatas. Na realidade, há duas espécies de chimpanzés: o chimpanzé comum (*Pan troglodytes*) e o bonobo (*Pan paniscus*). (As medidas indicam o comprimento do animal. Os elementos da figura não estão na mesma escala. Cores-fantasia.)

(GEWANDSNAJDER e LINHARES, 2010, p.135)

No entanto, nenhuma outra informação é referenciada no texto sobre como interpretar essa árvore e quais outros conhecimentos ela oferece. Por não ter instruções, os alunos podem pensar que a ordem dos nós terminais fornecem informações sobre o parentesco do grupo. No caso da árvore representada por Gewandsnajder e Linhares (2010), os alunos podem interpretar erroneamente que o gibão, por exemplo, é mais aparentado com o orangotango do que com os outros primatas.

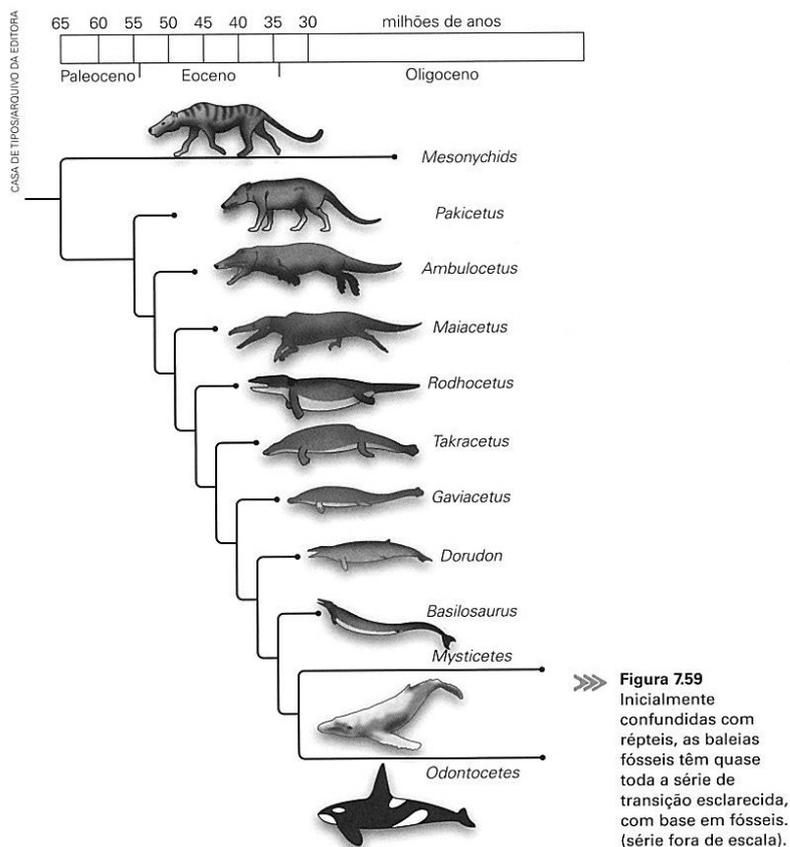
Outra suposição equivocada que pode ocorrer é que o ancestral de dois grupos modernos (por exemplo, do homem e do chimpanzé) deve ter sido muito semelhante a uma das espécies descendentes, ou ainda pior, que uma das espécies contemporâneas seria ancestral de outra. Sem dúvida, muitos leitores podem considerar a árvore como uma linha principal de progresso evolutivo de um ancestral primitivo a um "avançado". A noção de que os outros primatas deveriam ter desaparecido agora que os seres humanos existem também pode ocorrer, baseando-se numa falsa compreensão da formação de espécies. Mendonça e Laurence (2010, p.220) também ilustra uma árvore filogenética, no entanto, utiliza três espécies hipotéticas:



No exemplo de Mendonça e Laurence (2010) não há nenhuma referência da idade geológica desses táxons hipotéticos. Uma interpretação equivocada que pode decorrer da leitura da filogenia é a espécie A ser pensada como mais antiga, isto é, ter aparecido como um grupo taxonómico reconhecível mais cedo do que as espécies B e C. No entanto, essas espécies seriam contemporâneas, o que significa que as linhagens que estão atualmente nos nós terminais evoluíram há exatamente a mesma quantidade de tempo desde a sua divergência de um distante ancestral comum. Como resultado, a noção de que qualquer uma dessas linhagens é "mais evoluída", ou que uma teve mais tempo para acumular diferenças é falha.

Outra suposição que os alunos podem ter é que um nó interno indica o momento exato em que determinadas mudanças físicas surgiram, e que um ramo de nó-livre indica que nenhuma mudança ocorreu. No entanto, uma interpretação mais precisa da representação filogenética é a de que um nó interno representa o momento em que uma população coesa divergiu em duas populações descendentes, com variações morfológicas, as quais podem ter ocorrido tanto neste momento, representado pelo nó, como depois dele.

Bizzo (2010) também não define filogenia, mas, ao comentar sobre os trechos da *origem das espécies* nos quais Darwin discutiu especificamente sobre evolução das baleias, auxilia na interpretação do exemplo de filogenia a seguir, relacionando o documentário fóssil, o tempo geológico, a filogenia, e os dados de Darwin:



(BIZZO, 2010, p. 245)

Apesar de as árvores filogenéticas, nesses casos, representarem eventos macroevolutivos, quando elas são introduzidas aos estudantes pode ser útil fazer uma clara distinção entre o processo de reprodução das populações em um curto período de tempo, e a própria filogenia que representa mudanças evolutivas que ocorrem ao longo de um período de tempo muito extenso. Uma visão ampliada (ou "zoom" nos ramos da árvore), mostrando hipoteticamente a população ao longo de muitas gerações e representando as mudanças passo a passo, pode ser uma alternativa para que os estudantes visualizem como os táxons mudam ao longo do tempo.

Outros importantes aspectos que deveriam ser explorados para um entendimento satisfatório é a escala de tempo geológico de ocorrência dos grupos representados e a demonstração de que muitos ramos relacionados a esses grupos também ocorreram durante a história evolutiva, mas estão extintos. No entanto, infelizmente, as evidências fósseis e moleculares, que fornecem indícios dessas ocorrências, pouco são exploradas nos livros didáticos.

Se nenhuma dessas relações é tratada suficientemente na unidade de evolução, então as árvores filogenéticas são pouco compreendidas pelos alunos em outras partes do

livro texto onde aparecem, como nos capítulos que tratam de zoologia, botânica e microbiologia, por exemplo. Alguns autores argumentam que as árvores filogenéticas apresentam ótimas perspectivas de ensino, quando utilizadas como eixo centralizador da discussão da biodiversidade, permitindo aos alunos uma melhor compreensão dos processos evolutivos (RODRIGUES, 2011). Propostas com essas intenções devem ser consideradas, uma vez que as árvores filogenéticas são parte importante do conhecimento em evolução biológica e devem fazer parte do repertório conceitual dos estudantes.

#### 4.1.5 Deriva Genética e Migração

A deriva genética, tal como a seleção natural, a mutação e a migração, é um dos mecanismos básicos de evolução. A deriva genética afeta o *pool* gênico de uma população através de um processo inteiramente aleatório, ao contrário da seleção natural. Deste modo, apesar da deriva genética ser um mecanismo evolutivo, ela não produz diretamente adaptação. Nas obras de referência do ensino superior a deriva genética é considerada basicamente como *mudanças aleatórias nas frequências gênicas de uma população* (RIDLEY, p.703). Os autores também afirmam que a deriva ocorre por conta da amostragem aleatória da geração parental e que o alcance da deriva depende do tamanho populacional. São apresentados diversos exemplos de evolução pela deriva genética e algumas aplicações, como na biologia da conservação e na evolução molecular.

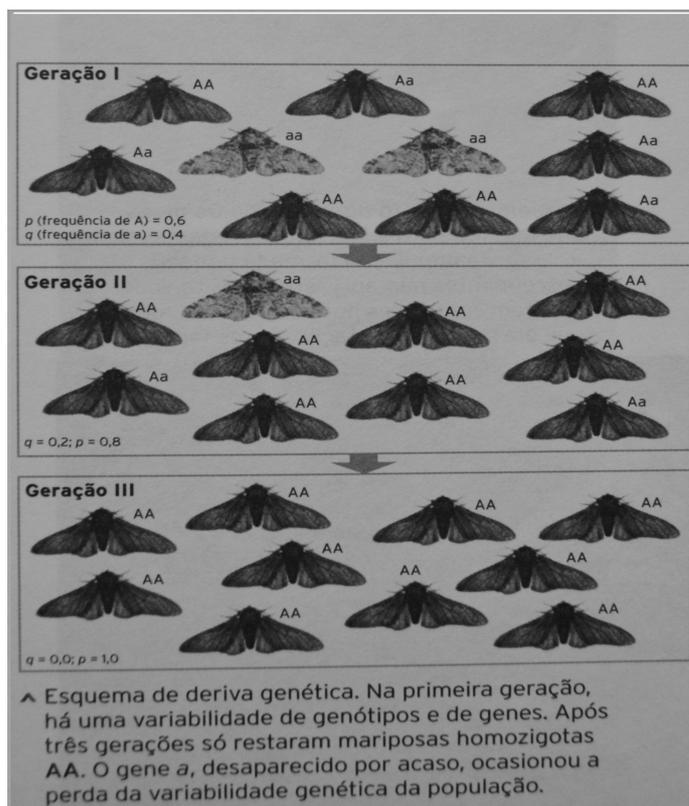
No entanto, nos livros didáticos de ensino médio a deriva genética é pouco explorada; nenhuma obra possui mais que metade de uma página dedicada à deriva e em alguns livros ela está completamente ausente. A pouca exploração da deriva genética reforça, nos livros didáticos, a ideia de que apenas a seleção natural seria importante para mudanças evolutivas. Isso talvez esteja relacionado com a posição adaptacionista predominante nas obras.

Na obra de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010), unidade dois, capítulo seis, há alguns erros associados ao conceito de deriva genética:

*A oscilação gênica ou deriva genética é uma instabilidade das frequências gênicas que varia conforme o tamanho das populações. Enquanto nas muito grandes as frequências são mantidas praticamente constantes, pode ocorrer considerável variação nas populações pequenas. Nestas, genes podem ser fixados ou perdidos ao acaso e não por pressão seletiva ou por mutação. Nas populações pequenas forma-se um "engarrafamento" genético, desviando as frequências para direções imprevisíveis. (PEZZI, GOWDAK e MATTOS 2010, p. 78)*

Os autores mencionam que a deriva é uma instabilidade das frequências gênicas, explicação insuficiente, sujeita a múltiplas interpretações. Além disso, a expressão "engarramento" genético como sinônimo de deriva pode dificultar a compreensão, além de não ser usual na literatura especializada.

O livro didático de autoria de Catani (2010) foi um dos poucos que mostrou, através de uma imagem, a evolução hipotética de uma população pela deriva genética:



(CATANI, 2010, p. 163)

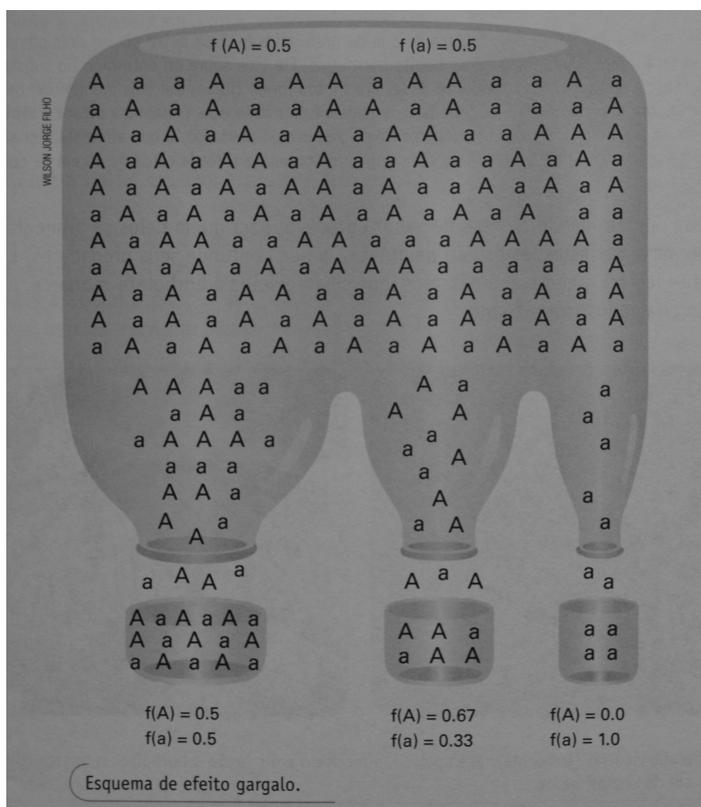
A deriva genética, segundo Catani (2010):

*A deriva genética pode ser entendida como uma mudança nas frequências gênicas que se dá totalmente ao acaso. [...] A deriva genética ocorre, em geral, nas populações de organismos, mas seus efeitos são mais drásticos em populações pequenas.* (CATANI, 2010, p. 163)

O autor também deixa claro que a deriva ocorre em todas as populações, apesar dos efeitos mais drásticos ocorrerem em populações pequenas.

Na obra de Lopes e Rosso (2010), na unidade três, capítulo doze, a deriva genética é associada com a genética de populações, mas não como um mecanismo evolutivo. A definição dos autores, associada com uma ilustração é vaga e breve, considerando apenas um conhecimento superficial de genética:

*A deriva genética corresponde a processos aleatórios que reduzem a variabilidade genética de uma população sem relação com a maior ou menor adaptabilidade dos indivíduos. (LOPES e ROSSO, 2010, p. 452)*



(LOPES E ROSSO, 2010, p. 452)

Os exemplos limitados da deriva genética em ação podem, inadvertidamente, ensinar os alunos que a deriva ocorre apenas em tais casos: efeito gargalo e populações pequenas. No desenho esquemático proposto por Lopes e Rosso, acima, é focado o efeito "gargalo de garrafa" e os estudantes podem generalizar esse processo para a definição de a deriva genética, correndo o risco de acreditar que ela só ocorre nesse tipo de evento. Como alternativa a essa compreensão equivocada, a abordagem dos livros didáticos também podem levar os alunos a assumir que a deriva genética ocorre apenas em populações pequenas, uma vez que todos os livros focam nos efeitos da deriva, exclusivamente, em pequenas populações.

A maior parte da pesquisa sobre as dificuldades dos alunos em relação aos conceitos de evolução tem-se centrado sobre a seleção natural, mas a compreensão de processos aleatórios em evolução também são importantes. Equívocos sobre processos aleatórios surgem principalmente como fatores que contribuem para as dificuldades dos alunos na aprendizagem de Biologia Evolutiva e Molecular (GARVIN-DOXAS e KLYMKOWSKY, 2008)

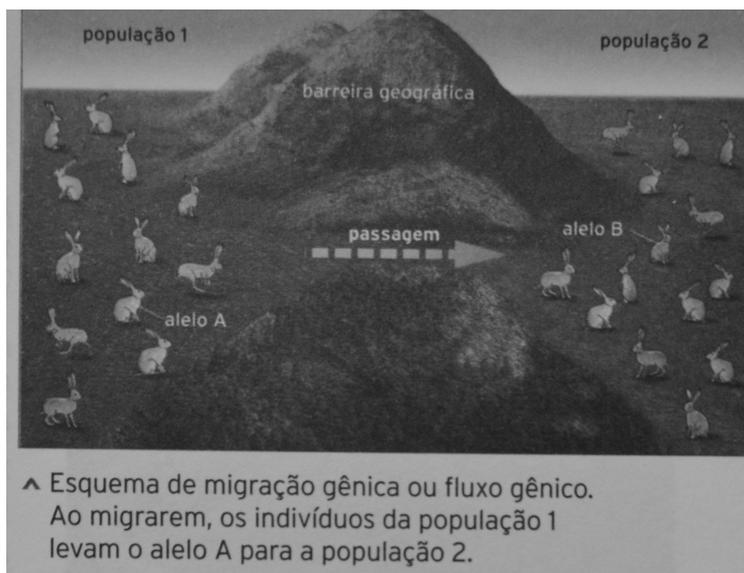
Para Garvin-Doxas e Klymkowsky (2008), o ensino de Biologia difunde predominantemente a noção de que os sistemas biológicos são extremamente eficientes e representam adaptações essencialmente perfeitas (talvez um eco do antigo argumento de William Paley sobre o *design*), enfatizando o poder da adaptação em relação a outros mecanismos evolutivos menos propensos a interpretações ligadas à ideia de projeto, como é o caso da deriva.

Nos livros didáticos os processos evolutivos com menos efeitos adaptativos, como a deriva genética, as mutações ao acaso e a migração são os menos explorados. Garvin-Doxas e Klymkowsky (2008) apontam que, muitas vezes, esses processos não são encarados como mecanismos evolutivos no mesmo nível da seleção natural. Mesmo quando esses mecanismos são discutidos parece que a ênfase na adaptação envolvida com o processo evolutivo é o que interessa. Garvin-Doxas e Klymkowsky (2008) discutem casos em que os alunos, quando são questionados sobre a migração, descrevem esse processo sempre seguido de adaptação ao ambiente. Nesses casos, frequentemente, os alunos confundem adaptações fisiológicas e evolutivas. Os mesmos autores constatam que os estudantes não dão importância à migração e à deriva genética como mecanismos que produzem mudanças evolutivas, enfocando apenas processos adaptativos. Os livros didáticos de ensino médio analisados fazem o mesmo, pouco explorando a migração e a deriva por meio de exemplos concretos de mudança evolutiva.

Nos trechos a seguir, pode ser observada a forma como a migração é tratada nos livros didáticos:

*As migrações introduzem ou retiram genes das populações, podendo provocar mudanças nas frequências gênicas e genotípicas. A alteração vai depender da intensidade das migrações e das diferenças entre a distribuição gênica na população nativa e no grupo migrante. (PEZZI, 2010, p. 77)*

*Indivíduos de uma população podem dispersar-se e adentrar em outras, acasalando-se com os indivíduos nativos e incluindo seus genes ao conjunto gênico da população local. Quando isso ocorrer, a composição genética dessas populações se altera. A esse fenômeno também se dá o nome de fluxo gênico. (CATANI, 2010, p. 163)*



(CATANI, 2010, p. 163)

A deriva genética e a migração são processos de suma importância nas populações biológicas e, como tal, são fundamentais para o estabelecimento do pensamento populacional e a compreensão das mudanças evolutivas.

Infelizmente, a migração não é explorada satisfatoriamente nos livros, possibilitando, apenas, a constatação de um processo que intuitivamente já é conhecido pelos alunos, soando como algo sem importância evolutiva. Sendo assim, falta nos livros uma abordagem que subsidie os estudantes para uma compreensão mais aprofundada das implicações evolutivas dos mecanismos de deriva genética e de migração, constituindo-se a abordagem dessas temáticas uma lacuna na percepção formal dos alunos para esses mecanismos nas populações biológicas.

#### 4.2 O Papel da Mudança Conceitual nos Livros Didáticos

Os dados empíricos sobre o ensino de evolução biológica demonstram que muitas vezes o aprendizado é dificultado devido a questões religiosas e políticas, além de parecer contra intuitivo em muitos aspectos (THAGARD, 2009). Nos últimos anos essas pesquisas foram particularmente ativas em focar os tipos de elaborações conceituais que os alunos possuem previamente ao aprendizado formal de evolução. Apesar de as pesquisas enfatizarem a importância das concepções prévias dos alunos, os livros didáticos pouco as consideram quando apresentam os conteúdos destinados ao ensino de evolução biológica.

Essas concepções alternativas proporcionam aos alunos um quadro conceitual que

permitem um sentido de mundo antes mesmo de qualquer ensino formal. De modo geral, as concepções alternativas são consideradas como sensatas e úteis, possuindo um valor significativo para o aluno. Como afirma Driver (1986):

*Não tratam-se de ideias irracionais, mas simplesmente fundamentadas em premissas diferentes. Assim, contradições lógicas internas, facilmente detectáveis quando se analisam tais concepções a partir dos modelos científicos não o são para os alunos. Fazem assim uma inferência lógica, mas cientificamente incorreta.*

Sendo assim, essas concepções não se aplicam inteiramente para a compreensão de ideias que estão fora do domínio da experiência cotidiana, tais como vários aspectos da teoria evolutiva. Os dados empíricos sobre concepções prévias de estudantes, importantes em Biologia Evolutiva, apontam para três tendências cognitivas dos alunos, as quais são particularmente relevantes para a aprendizagem de evolução: o essencialismo, a teleologia e a intencionalidade.

O pensamento essencialista origina as crenças de identidade homogênea para cada espécie, como se cada tipo de organismo possuísse uma essência fundamental. Esse pensamento pode fundamentar a capacidade humana de categorizar, influenciando temas importantes em evolução, como o conceito de espécie e o processo de especiação. Pensar em termos de essência também 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 atividades propositais a eventos, objetos e comportamentos, 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, que pode derivar do fato de o homem ser uma espécie social primorosamente em sintonia com nuances de significado. Nós tentamos decifrar mentes e comportamentos, o que nos leva a assumir intenções em quase tudo. Essa tendência pode incutir intencionalidade às adaptações, dificultar a apreciação de processos probabilísticos como a deriva, bem como enviesar a leitura da história evolutiva, de modo a compreendê-la em termos de progresso.

Os alunos também podem pensar a evolução em nível de indivíduo, em vez de a considerar em termos populacionais, utilizando conceitos do senso comum para explicar as mudanças evolutivas. Essa tendência pode levar às seguintes concepções: (1) de que a

mudança evolutiva é baseada na necessidade de adaptação, em um sentido teleológico; (2) que a evolução é progressiva, possibilitando que formas cada vez mais desenvolvidas surjam; e (3) que a evolução não é um processo dinâmico, mas uma série de eventos.

O pensamento populacional, muito importante na Síntese Evolutiva, contrapõe essas considerações 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. De modo geral, portanto, os livros didáticos não parecem atribuir importância a esses aspectos no ensino de evolução. Os estudos que procuraram destacar a relevância das concepções alternativas no processo de construção do conhecimento surgiram nas décadas de setenta e oitenta, em uma vertente do campo de ensino de ciências conhecida como “movimento de concepções alternativas” (MCA). Este movimento radica-se na epistemologia da Ciência, tendo como precursores pesquisadores renomados 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 instrução não promove bases fortes para o aprendizado do conhecimento científico. Essa linha atribui conotações positivas às representações dos alunos, vistas como testemunhos inevitáveis de explicações pessoais no 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 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, de fato, que o sujeito é determinante para a organização e a estruturação do 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 tem 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 intrínscio ao processo ativo de construção do conhecimento.

Com a aproximação entre as ideias sobre a 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: *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 prévias dos alunos relevantes para a aprendizagem de evolução biológica, podemos sobrepor uma série de tendências que parecem importantes no desenvolvimento formal de conceitos em evolução biológica (Tabela 1).

<i>Conceitos básicos em evolução</i>	<b>Tendência cognitivas</b>	<b>Obstáculos (Sepulveda, 2011)</b>	<b>Tendência do pensar (Santos, 1998)</b>	<b>Obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1938)</b>
<b>Seleção natural e variação populacional</b>	Essencialismo, Teleologia e Intencionalidade.	Pensamento essencialista, Finalismo.	Propriedades antropomórficas.	Substancialismo.
<b>Adaptação</b>	Essencialismo, Teleologia e Intencionalidade.	Pensamento essencialista, Finalismo.	Propriedades antropomórficas.	Substancialismo.
<b>Espécie, especiação</b>	Essencialismo.	Pensamento essencialista.	Primeiras impressões do conhecimento sensível.	Substancialismo, observação primeira.
<b>Filogenia</b>	Teleologia.	Finalismo.	Primeiras impressões do conhecimento sensível.	Observação primeira.
<b>Deriva e Migração</b>	Intencionalidade.		Primeiras impressões do conhecimento sensível.	Observação primeira.

Tanto as pesquisas específicas sobre aprendizagem de evolução biológica, quanto os trabalhos dos adeptos do MCA e de Bachelard, apontam concepções alternativas que podemos considerar relevantes para a aprendizagem de evolução biológica (Tabela 1). Essas considerações podem revelar um constructo racional para o estabelecimento dos conceitos evolutivos. Baseando-se nos modelos do ensino de Ciências que incluem ver as concepções alternativas dos alunos como aspectos importantes do pensamento científico, pode-se ter um caminho em termos de pesquisa e ensino em Biologia Evolutiva.

Os autores do MCA defendem que para ocorrer a mudança conceitual os alunos devem chamar essas tendências à consciência para oportunizar que sejam dialetizadas. Bachelard (1938) também se refere a um processo semelhante, chamado de psicanálise do conhecimento, onde o objetivo não é suprimir um passado não científico, mas, separar um

passado não científico de um presente científico. Os alunos só podem progredir no conhecimento opondo-se, conscientemente, a conhecimentos anteriormente elaborados. A oposição pressupõe a realização de uma espécie de catarse intelectual, a qual eliminaria as concepções alternativas no processo de construção do conhecimento em um âmbito científico.

Santos (1998) aprofunda um pouco mais essas questões propondo centros estratégicos do modelo de aprendizado por mudança conceitual:

(1) *Consciencialização*: a tentativa de levar o aluno a consciencializar e a explicitar as suas certezas. Explorar ideias próprias, chamadas à consciência, discutindo-as, a fim de clarificá-las. Centra-se na crítica do próprio pensamento, em rever o erro e refazer o processo. O erro, nessa fase, é uma fonte de progresso.

(2) *Desequilíbrio*: constitui-se em avaliar, afastar ou limitar, por infirmação, concepções alternativas. Não se destina a substituir uma explicação por outra. É uma primeira tentativa de desestabilizar as representações dos alunos (para que se habituem a desconfiar do que já conhecem). Destina-se ao aparecimento de conflitos cognitivos.

(3) *Familiarização*: é a introdução de novas ideias com a ajuda de materiais instrucionais. Essa é a fase em que o aluno começa a entrar em contato com o conhecimento científico. É uma etapa que tem por base a necessidade que os alunos têm de atribuir sentido, por eles próprios, às novas informações.

Contudo, os livros didáticos de ensino médio analisados apresentam as informações de uma forma que não favorece a realização dos modelos de aprendizado propostos a partir de pesquisas do Ensino em Ciências: em geral, os textos e imagens pouco dialogam com possíveis ideias alternativas do leitor, não contribuindo para a contestação de suas crenças, o que acaba confirmando o conhecimento de senso comum. As obras não intermediam a mudança conceitual, uma vez que não consideram as etapas de consciencialização e desequilíbrio, indo direto à familiarização, ou seja, introduzindo diretamente o conhecimento científico, sem propor aos alunos a crítica do próprio pensamento e a geração de conflitos cognitivos.

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 (verbais, escritos, pictóricos, esquemáticos, matemáticos...) que ajudassem a traduzir as representações 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 na rede de suas relações. É fomentando uma dialética entre as novas e as velhas ideias que se vai constituindo a racionalidade do saber (ANDRADE, 2002).

Por isso, o monólogo livro-aluno naturalmente possui limitações, pois é apenas uma das ferramentas de que se pode lançar mão para a psicanálise 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 texto pode intermediar a mudança conceitual?

Como vimos, os livros didáticos de Biologia em geral fornecem informações sobre conhecimentos científicos induzindo apenas o processamento superficial, deixando de sustentar uma aprendizagem significativa. Uma alternativa discutida pelos adeptos do MCA é a utilização de textos argumentativos com enfoque na refutação de conceitos alternativos (TIPETT, 2010; HYND, 2003).

Um texto argumentativo com enfoque na refutação é um 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 (TIPETT, 2010).

De acordo com Hynd (2003), textos desse tipo podem ser eficazes na promoção da mudança conceitual porque provocam no leitor insatisfação com as concepções alternativas, explicando o conceito científico de forma clara e em profundidade, tornando-o plausível através de exemplos credíveis e, finalmente, mostrando a utilidade do conceito científico. Tippet (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 verdades absolutas por outras verdades absolutas (ou seja, concepções alternativas, pelas cientificamente aceitas). Bachelard e os defensores do MCA argumentam que apenas uma filosofia extremamente crítica e racionalista pode levar a um padrão de conhecimento melhor. 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.

#### 4.3 A História e a Filosofia da Ciência como Promotoras da Mudança Conceitual

Como Santos (1998) coloca, a questão da mudança conceitual não é para que os alunos eliminem as suas concepções alternativas, mas, para que se tornem aptos a pensar e a operar em dois domínios de conhecimento diferentes e que sejam capazes de os distinguir. Uma Ciência apresentada de forma dogmatizada não considera que a constituição dos conceitos está vinculada com o caráter coletivo e histórico da investigação, sendo vista de uma forma superficial e descontextualizada.

Nos livros didáticos de ensino médio a evolução biológica é vinculada à concepção darwinista de evolução, pois elementos da Síntese Evolutiva bem aceitos pela comunidade científica não são tratados de forma satisfatória, como a origem ao acaso da variação, eventos macroevolutivos e de especiação, bem como a deriva e a migração. Se na Síntese Evolutiva o *locus* onde ocorre a evolução é a população, o desenvolvimento do pensamento populacional (que é um modelo para encarar a realidade biológica) se faz flagrante no ensino de evolução. Como alguns aspectos da evolução darwinista e da Síntese Evolutiva se baseiam em perspectivas epistemológicas distintas e os livros tentam abarcar, insatisfatoriamente, uma abordagem que não as delimita, essa pode ser uma explicação para o baixo sucesso no ensino-aprendizagem relatado na literatura.

Quando avaliamos alguns aspectos históricos do pensamento evolutivo, podemos vislumbrar um caráter dinâmico dos conceitos, em que novos sistemas de ideias são reconsiderados ao longo do tempo. Na introdução já apresentamos a obra de Eva Jablonka e Marion Lamb (2010) que retomaram o conceito lamarckiano de caracteres adquiridos, evidentes em estudos com mutações dirigidas em microrganismos. Essa consideração

intefere 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.

A dicotomia entre o pensamento populacional e o tipológico adotado por importantes autores como Ernst Mayr e Elliot Sober é bastante característico da Síntese Evolutiva e vem sendo alvo de intensos debates na História e Filosofia da Biologia. Esses autores afirmam que o aspecto inovador da teoria da evolução darwinista e seu mecanismo de seleção natural é seu caráter estritamente populacional: a seleção natural explicaria a persistência e a porcentagem particular dos indivíduos em uma população. Esse é o caráter estatístico da evolução. É importante notar que tanto as ideias de Mayr quanto as de Sober sobre o pensamento populacional coincidem com a definição da Síntese Evolutiva de evolução, sustentada na genética de populações: mudanças na frequência de traços (e genes que os produzem) em uma população.

Todavia, como argumentado por Ariew (2008), Darwin estava muito longe de sustentar uma visão populacional e estatística como Mayr e Sober defendem. De acordo com Ariew, a revolução darwinista consistiria em considerar o âmbito populacional como *locus* causal direto da própria produção das formas biológicas. O viés estatístico do pensamento populacional é, de acordo com Ariew, uma característica da Síntese Evolutiva, mas não sustentada pelo próprio Darwin.

Bohorquéz e Andrade (2010) defendem que tanto o pensamento populacional quanto o tipológico têm algo de verdade na evolução. Para os autores, o pensamento populacional se justifica devido ao fato de as variações dos indivíduos nas populações serem fundamentais para a evolução; entretanto, argumentam que o pensamento tipológico também se justifica, pois os indivíduos de uma população variam dentro de um tipo ou estado morfológico estável, respeitando certos limiares, como resultado da conjunção de fatores históricos, estruturais e funcionais. Os autores mostram que é possível encontrar uma noção de tipo que não tenha implícita uma carga essencialista: o tipo é definido historicamente e, portanto, de maneira contingente. Isso, segundo os autores, está em plena concordância com a mesma concepção de Darwin a respeito da origem compartilhada por ancestrais comuns das diversas formas biológicas. Em outras palavras, para os autores, Darwin absolutamente não abandona a noção de tipo, simplesmente reformulando essa noção em termos históricos não essencialistas. Minelli e Fusco (2008) também seguem nessa linha, defendendo que as populações e organismos individuais são sistemas integrados

causalmente.

Considerações sobre os diferentes níveis de seleção também estão ocorrendo na Filosofia da Biologia e parecem contrapor alguns aspectos do pensamento populacional, ao conceber a seleção natural atuando além do nível populacional. Essas considerações surgiram a partir de estudos que observaram uma série de adaptações que parecem beneficiar diferentes níveis na hierarquia da organização biológica, como genes, linhagens celulares, além da seleção de parentesco e a de grupo (RIDLEY, 2008).

Essas discussões na Filosofia da Biologia têm posto em debate algumas suposições fundamentais sobre os processos evolutivos e mostram quanto o conhecimento científico é provisório, sendo o percurso epistemológico instável, em que a única certeza é a de nossa ignorância e a da busca por conhecimento. Mudanças conceituais, portanto, ocorrem na História da Ciência, onde os conceitos variam de acordo com o modo de pensamento em vigor na época em que uma rede teórica foi tecida. Nesse cenário, como a educação formal vincula-se com os problemas científicos?

A educação científica se caracteriza pelo aprendizado do dogma transmitido pelos livros didáticos. A dimensão dogmática adquire importância na formação das tradições de investigação, pois quanto mais dogmática é a formação, mais se poderá reconhecer a vinculação dos cientistas à sua comunidade, pois uma tradição de investigação funda-se na partilha de ideias pré-concebidas. Parece haver, portanto, uma constante tensão entre a persistência da tradição e o surgimento do novo - o espírito dogmático e a crítica são partes contrastantes de um mesmo quadro. O dogma parece importante para formação científica, pois evidentemente não é conveniente fazer investigação científica sem aceitar os conhecimentos já produzidos pelas gerações precedentes. No entanto, na Ciência aquele que julgar ter encontrado uma resposta conclusiva dá amostras do fracasso da própria Ciência (BOMBASSARO, 1995).

O novo nas pesquisas em evolução biológica é a Síntese Estendida, em que uma série de mudanças de paradigmas e novos instrumentos irão orientar o olhar dos pesquisadores para novas direções. Nesse momento histórico, o quadro conceitual da evolução passa por uma mudança de paradigma, em que uma verdadeira revolução científica está em curso. Esses fatos apresentam mais motivos para se repensar como os conceitos evolutivos são tratados no livro didático.

Parece, portanto, flagrante a necessidade de um ensino contextual de evolução, explorando as componentes históricas e filosóficas da evolução na tentativa de promover uma formação que supere uma visão distorcida e fragmentada da atividade científica. Os

benefícios do ensino contextual considerando a história do pensamento evolutivo podem ser, por exemplo: uma melhor compreensão dos conceitos científicos e métodos; a conexão do desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas; o entendimento da natureza da ciência; o enfrentamento do cientificismo e do dogmatismo.

Prestes e Caldeiras (2009) chamam a atenção para o fato de que a partir do final do século XIX, emergiu nos meios educacionais um apelo para que se ensinasse aos jovens “não apenas meros resultados, mas os métodos e, acima de tudo, a história da ciência”, com o objetivo de promover a própria Ciência. Durante o século XX ocorreram diversas tentativas de inclusão da História da Ciência em currículos científicos, particularmente nos Estados Unidos e na Inglaterra. No Brasil, os documentos oficiais do Ministério da Educação não possuem um compromisso aprofundado com a abordagem contextual. Nos Parâmetros Curriculares Nacionais não é proposta uma forma integradora para a História, a Filosofia ou a Sociologia da Ciência serem incluídas nos currículos. Estudos que avaliam a situação da História da Ciência nos livros didáticos do ensino médio no Brasil referem uma constante descontextualização em sua abordagem, além de ser tratada geralmente na forma de simplificações (PASQUETTI, 2011).

Nos currículos científicos, onde a História da Ciência é considerada de forma mais sólida, há duas tendências para a sua abordagem (PRESTES e CALDEIRAS, 2009): (1) uma delas denomina-se “abordagem integrada”, onde a perspectiva histórica serve de linha condutora de todo o conteúdo científico a ser trabalhado com os estudantes em um dado programa de curso. Nesse caso, cada conceito seria tratado segundo suas origens e transformações; (2) a segunda abordagem, chamada de “inclusiva”, consiste na introdução de episódios históricos específicos (ou “estudos de caso” de História da Ciência) em unidades de curso de ciência. Essa segunda perspectiva parece ter conquistado espaço, em parte, devido às dificuldades encontradas pela abordagem anterior.

Prestes e Caldeiras consideram que ambas abordagens tenham seu valor no ensino de ciências, contudo, defendem a elaboração de contribuições pontuais da História da Ciência nos currículos dos cursos de ciências, ao menos até que se consiga desenvolver suportes mais amplos para projetos de grande escala. Além disso, apontam como ponto positivo da abordagem inclusiva o fato de dar ao professor autonomia para a “tomada de decisão” na construção do programa de aprendizagem. Em vez de um único texto didático, materiais curriculares de formato mais modular permitem que o professor estabeleça uma organização particular de materiais disponíveis para ajustarem-se ao perfil da classe em que

leciona.

As autoras defendem que tomar os modelos científicos como exemplos comuns de teoria e inferência na Ciência cria condições para o professor problematizar com os alunos um aspecto central da natureza da Ciência que é o da distinção entre leis e teorias. Além disso, permite que o professor problematize a utilização de modelos como ferramenta de recontextualização discursiva. Alguns elementos positivos que as autoras sintetizam na exploração da abordagem inclusiva da História da Ciência para o ensino são:

(1) Os exemplos da história da evolução podem mostrar que o conhecimento científico nunca é absoluto ou certo. Isso possibilita uma natureza mais real da natureza da Ciência, caracterizadas por tentativas de compreensão de fenômenos, as quais estão sujeitas a mudanças.

(2) Pode ser discutido com os alunos a natureza da Ciência como um processo de construção coletiva do conhecimento. O aluno pode reparar que a aceitação de alguma proposta científica não depende apenas do seu valor intrínseco, mas também de fatores sociais, filosóficos, políticos e culturais. Estudos de caso podem ilustrar que ideias e teorias científicas não surgem prontas, mas são o efeito de um processo lento de desenvolvimento de conceitos.

(3) A História da Ciência permite que o professor explore com seus alunos a relação entre diferentes campos de estudo. Também favorece a discussão acerca das influências de ideias preconcebidas na pesquisa e as dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores diante de fatos novos e inesperados. O aluno pode perceber, assim, que suas dúvidas são perfeitamente pertinentes em relação a conceitos que demoraram tanto tempo para serem construídos.

Portanto, uma abordagem inclusiva da História da Ciência apresenta elementos que são necessários para a mudança conceitual, uma vez que muitos aspectos das concepções alternativas fazem recordar concepções históricas da ciência. De fato, os alunos ostentam concepções alternativas que correspondem a modelos que já foram aceitos pela Ciência e que foram, posteriormente, refutados ou grandemente modificados (como a teleologia, o essencialismo, etc...). É evidente que o processo de aprendizagem não pode diretamente recapitular os processos históricos, pois representações históricas não são simplesmente "generalizações da experiência". Fatores epistemológicos e sociológicos desempenham um papel importante na formação de uma representação, e estes são diferentes para tais processos. No entanto, alguns pontos de vista dos alunos refletem analogias com aquelas historicamente realizadas, podendo apresentar características semelhantes. A História da

Ciência também tem como vantagem descobrir padrões de racionalidade no desenvolvimento conceitual e estabelecer algumas hipóteses sobre concepções alternativas.

A organização e seleção curricular também pode ser pensada a partir do conhecimento da História da Ciência. Bizzo e El-Hani (2009) apresentam um estudo que contesta a forma de organização dos conteúdos de evolução no ensino médio, discutindo o fato de a genética ser abordada antes de Teoria da Evolução. A justificativa para essa organização se dá pelo fato de que abordar o trabalho de Mendel diretamente ligado ao trabalho de Darwin oferece um atalho epistemológico aos estudantes. Os autores defendem que esse é um argumento falacioso, uma vez que não está baseado em evidências sólidas, nem em termos históricos, nem em termos da psicologia cognitiva. A partir disso, constroem uma proposta em que se inverta essa relação, além de delegar um maior espaço à macroevolução. Tudo isso baseado em argumentos históricos, uma vez que Darwin tinha maiores conhecimentos de eventos macroevolutivos do que microevolutivos e estabeleceu mesmo assim os marcos conceituais que são tratados em evolução biológica no ensino médio. A História da Ciência, se adotada de maneira mais extensa, pode embasar uma reorganização curricular, tornando o conteúdo mais coerente e adequado ao aprendizado.

Outro ponto crucial que os autores do MCA apontam para a Educação em Ciências é a necessidade de um ensino não dogmatizado e contextualizado, o que pode ser possibilitado através de uma abordagem inclusiva da História da Ciência. Para a psicanálise do conhecimento, defendida por Bachelard, é necessário que o aluno adquira a consciência da retificação constante da Ciência, advindo daí a importância da historicização do ensino de ciências. É muitas vezes esquecido que a mudança conceitual na História da Ciência é um processo de aprendizagem para os cientistas também. Um cientista individual ou em grupo deve aprender a construir um tipo específico de representação de um domínio e, em seguida, deve instruir o resto da comunidade na nova representação. Assim como os cientistas, os estudantes que aprendem uma representação científica também devem construir ativamente o conhecimento: devem formar novos conceitos e novas relações entre os conceitos pré-existentes, integrando a nova representação para um ponto em que se possa fazer uso dela. Por isso, a História da Ciência, se presente no ensino, fortalece o pensamento científico quando possibilita a ocorrência da luta entre ideias concorrentes.

No entanto, há de se reformular o modo como a História da Ciência é abordada nos livros didáticos, para que não se caia em uma pseudo-história e pseudociência no contexto educacional (CORREA, 2010). Alguns “sinais de advertência” que podem servir de indicativos para uma abordagem pseudo-histórica são tratar a História da Ciência em uma

versão romaneada, em que personalidades sem defeitos fazem descobertas monumentais e individuais através de experimentos cruciais, 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 preconcebida e simplista da ciência.

Essas críticas acerca das possíveis distorções decorrentes das tentativas de simplificações da História da Ciência de modo a adequá-las 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 a mudança conceitual, propondo dispositivos didáticos que tratem de grandes questões científicas e seus múltiplos problemas filosóficos.

## 5 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Ana Maria Rocha de; EL-HANI, Charbel Niño. Um exame histórico-filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento. **Scientiæ Zudia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p.9-40, 2010.

ANDRADE, Beatrice L. de; FERRARI, Nadir. 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, dez. 2002.

ARAÚJO, Aldo Mellender. Síntese evolutiva, constrição ou redução de teorias: há espaço para outros enfoques? **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 1, p. 5-19, 2006.

ARIEW, André. Population thinking. In: Michael Ruse: **Oxford Handbook of Philosophy of Biology**. Oxford: Oxford University Press, forthcoming. 2008.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1938. 316 p.

BISHOP, Beth A.; ANDERSON, Charles W. Student conceptions of natural selection and its role in evolution. **Journal Of Research In Science Teaching**. v. 27, n. 5, p.415-427, maio 1990.

BIZZO, Nelio. **Novas bases da Biologia**. Atica. v. 3, 2010. 264p.

BIZZO, Nelio; EL-HANI, Charbel Niño. O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. In: MARTINS, Lilian Al-chueyr Pereira. **Filosofia e História da Biologia**. 4. ed: Abfhib, 2009. p. 235-257.

BLANCKE, Stefaan et al. The Implications of the Cognitive Sciences for the Relation Between Religion and Science Education: The Case of Evolutionary Theory. **Science & Education**,v. 21, n. 8, p. 1167-1184, 01 ago. 2012. Disponível em: <<http://rd.springer.com/article/10.1007/s11191-011-9402-z>>. Acesso em: 01 ago. 2012.

BOMBASSARO, Luiz Carlos. **Ciência e mudança conceitual: notas sobre epistemologia e história da ciência**. Porto Alegre: Edipucrs, 1995. 124 p.

BONITO, Jorge et al. A Complexidade do Tempo Geológico e a sua Aprendizagem com Alunos Portugueses (12-13 anos). **Terræ Didática**, p.81-92, 2012.

BOHÓRQUEZ, Maximiliano; ANDRADE, Eugenio. A contingência dos padrões de organização biológica: superando a dicotomia entre pensamento tipológico e populacional. In: ABRANTES, Paulo Cesar Coelho. **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 1-328.

BROUSSEAU, G. Les obstacles epistemologiques et les problemes en mathematiques. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 4, n. 2, p. 165-198, 1983.

CAPONI, Gustavo. O darwinismo e seu outro, a teoria transformacional da evolução. **Scientiae Studia**. v. 2, n. 3, p.217-237, jun. 2005.

CATANI, André; BANDOUK, Antonio Carlos; CARVALHO, Elisa Garcia. et al. Ser protagonista – Biologia. SM. v. 3, 2010. 320p.

CEZAR; SEZAR; CALDINI. **Biologia**. Saraiva. v. 3, 2010.

CHAMBLISS, Marilyn. The characteristics of well-designed science textbooks. In: OTERO, José. **Psychology of science text comprehension**. Taylor & Francis, 2002. p. 1-453.

CORRÊA, André Luis et al. 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.

CROW, J.F.; KIMURA, M. **An introduction to population genetics theory**. Harper & Row, Publishers, New York, N.Y., 1970. 591p.

DARWIN, Charles. **A origem das Espécies, no meio da seleção natural ou a luta pela existência na natureza**. Tradução: Joaquim da Mesquita Paul. Porto: Lello & Irmão, 2003.

DEADMAN, J; KELLY, P. What Do Secondary School Boys Understand About Evolution and Heredity Before They are Taught the Topics? **Journal Of Biological Education**, p.7-15, mar. 1978.

DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. **The American Biology Teacher**, mar. 1973.

DRIVER, Rosalind; BELL, Beverley. Students' Thinking and the Learning of Science: A Constructivist View. **School Science Review**. p.443-456, mar. 1986.

ELREDGE, Niles; GOULD, Stephen Jay. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: SCHOPF. **Models in paleobiology**, 1972. p. 82-115.

- FREEMAN, Scott; HERRON, Jon. **Análise evolutiva**. Artmed. v.4, 2010. 848 p.
- FUTUYMA, Douglas. Origem e o impacto do pensamento evolutivo. In: FUTUYMA, Douglas. **Biologia Evolutiva**. Ribeirão Preto: Funpec, 2003. p. 1-18.
- GASTAL, Maria Luiza de Araújo, 2009, Florianópolis. **Progresso, adaptação e teleologia em evolução: o que aprendemos, o que entendemos e o que ensinamos?** Vii Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências: 2009.
- GARVIN-DOXAS, Kathy; KLYMKOWSKY, Michael. Understanding Randomness and its Impact on Student Learning: Lessons Learned from Building the Biology Concept Inventory (BCI). **Cbe Life Sci Educ**. v. 7, p.2227-2233, 2003.
- GEWANDSNAJDER, Fernando; LINHARES, Sergio de Vasconcellos. **Biologia**. Atica, v.3, 2010. 368p.
- GOULD, Stephen Jay. **Lance De Dados: A ideia de evolução de platão a darwin**. Record, 2001. 366 p.
- GREGORY, Ryan. Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions. **Evolution: Education And Outreach**, p.156-175, jun. 2009.
- GREENE, E. The logic of university students' misunderstanding of natural selection. **Journal Of Research In Science Teaching**. v. 9, n. 27, p.875-885, dez. 1990.
- HEY, Jody. The mind of the species problem. **Trends In Ecology & Evolution**. v. 7, n. 16, jul. 2001.
- HUXLEY, Julian. **Evolution: The Modern Synthesis**. Macmillan Pub Co, 1975. 705 p.
- HYND, C. Conceptual change in response to persuasive messages. In: SINATRA, M. **Intentional conceptual change**. Lawrence Erlbaum Associates, 2003. p. 291-315.
- IBOPE. **Pesquisa de opinião pública sobre o criacionismo no Brasil**, 2004. Disponível em:[http://www2.ibope.com.br/calandrakbx/filesmng.nsf/Opinioao%20Publica/Downloads/Opp992-criacionismo.pdf/\\$File/Opp992-criacionismo.pdf](http://www2.ibope.com.br/calandrakbx/filesmng.nsf/Opinioao%20Publica/Downloads/Opp992-criacionismo.pdf/$File/Opp992-criacionismo.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- JABLONKA, Eva; LAMB, Marion. **Evolução em quatro dimensões**. São Paulo: Companhia Das Letras, 2010. 512 p.
- KAMPOURAKIS, Kostas. Teaching About Adaptation: Why Evolutionary History Matters. **Science & Education**, maio 2011.
- KELEMEN, D. Are children “intuitive theists”? reasoning about purpose and design in nature. **Psychological Science**, p. 295-301, 2004.
- KING, J L; JUKES, T H. Non-Darwinian Evolution. **Science**, p.788-799, 1969.
- LEWENS, Tim. Adaptation. In: HULL, David; RUSE, Michael. **Cambridge companion to**

**the philosophy of biology.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 1-21.

LEWONTIN, Richard. The organism as subject and object of evolution. In: LEVINS. **The dialectical biologist.** Harvard University Press, 1985. p. 85-106.

LOPES, Celi Aparecida Espansandin, 1999, Florianópolis. **Estatística e a probabilidade através de atividades propostas em alguns livros didáticos Brasileiros recomendados para o ensino fundamental.** Anais da Conferência Internacional: Experiências e Perspectivas do Ensino da Estatística – Desafios Para O Século XXI. 1999.

MARANDINO, Martha; SELLES, Sandra Escovedo; FERREIRA, Marcia Serra. **Ensino de Biologia: Histórias e Práticas em Diferentes Espaços Educativos.** São Paulo: Cortez Editora, 2009. 213 p.

MARIANI; OGBORN. Towards an ontology of common-sense reasoning. **International Journal Of Science Education.** p.69-85, 1991.

MAYR, Ernst. **One Long Argument: Charles Darwin and The Genesis of Modern Evolutionary Thought.** Harvard University Press, 1991. 195 p.

MAYR, Ernst. **Biologia, ciência única - Reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica.** Companhia Das Letras, 2005. 272 p.

MAYR, Ernst. **Populações, espécies e evolução.** São Paulo: Edusp, 1977. 485 p.

MARTHO, Gilberto Rodrigues; AMABIS, José Mariano. **Biologia.** Moderna. v.3, 2010. 376p.

MEC/SEB. **Orientações curriculares para o ensino médio.** 2006.

MEIR, Judy Perry; HERRON, Jon C.; KINGSOLVER, Joel. College Students. **The American Biology Teacher,** 2007.

MENDONÇA, V; LAURENCE, J. Biologia para a nova geração. Nova geração. v.3, 2010. 264 p.

MINELLI, Alessandro; FUSCO, Guisepe. **Evolving Pathways. Key Themes in Evolutionary Developmental.** Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

OLEQUES, Luciane Carvalho; BARTHOLOMEI, Marlise Ladvocat; BOER, Noemi. Evolução biológica: percepções de professores de biologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias,** Pontevedra, v. 10, n. 2, p.243-263, 2011. Disponível em: <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>. Acesso em: 01 ago. 2012

PASQUETTI, Mayara Vendramin. **A história da ciência nos livros didáticos de biologia.** 2011. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Ufrgs, Porto Alegre, 2011.

PEZZI; GOWDAK; MATTOS. **Biologia.** FTD. v3, 2010. 208 p.

PIGLIUCCI, Massimo; MÜLLER, Gerd B.. **Evolution–The Extended Synthesis.** : Mit

Press, 2010. 504 p.

PRESTES, Maria Elice Brzezinski; CALDEIRAS, Ana Maria de Andrade. A importância da história da ciência na educação científica. In: MARTINS, Lilian Al-chueyr Pereira. **Filosofia e Historia da Biologia**. 4. ed. Abfhib, 2009. p. 1-16.

RIBEIRO, Manuel Gustavo Leitão et al. Teoria Darwinista da Evolução: identificação de concepções teleológicas entre estudantes do primeiro período de graduação em Ciências Biológicas. In: **encontro nacional de ensino de biologia**, 2010, Uberlândia.

RIDLEY, Mark. **Evolução**. Artmed. v.3, 2010. 752 p.

ROBERT, Jason Scott. **Embryology, Epigenesis, and Evolution: Taking Development Seriously**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 174 p.

ROCHA, Pedro Luiz Bernardo da, 2004, **Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity**. Ioste International Meeting On Critical Analysis Of School Science Textbooks, 2007.

RODRIGUES, Marciel Elio; DELLA JUSTINA, Lourdes Aparecida; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. O conteúdo de sistemática e filogenética em livros didáticos do ensino médio. **Ensaio**, Belo Horizonte, n. , p.65-84, 2011.

ROSSO, Sergio; LOPES, Sonia. **Bio**. Saraiva. v.2, 2010. 480 p.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz. **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico epistemologicamente fundamentado**. Lisboa: Livros Horizonte, 1991.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz. As concepções alternativas dos alunos à luz da epistemologia bachelardiana. In: **Mudança conceitual em sala de aula, um desafio pedagógico**. Lisboa: Livros Horizonte, 1998, p.128-164.

SELLES, Sandra Escovedo; FERREIRA, Marcia Serra. Influências histórico-culturais nas representações sobre as estações do ano em livros didáticos de ciências. **Ciência & Educação**, p.101-110, 2004.

SEPULVEDA, Claudia; EL-HANIB, Charbel Niño. Obstáculos epistemológicos e ontológicos á compreensão do conceito darwinista de adaptação: implicações para o ensino de evolução. **Problemáticas de Investigación En La Enseñanza de Las Ciencias En América Latina**, Bogotá, 2011.

SEPULVEDA, Claudia; EL-HANIB, Charbel Niño. Adaptacionismo versus exaptacionismo: O que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? **Ciência e Ambiente**, p. 93-124, 2008.

SHTULMAN, Andrew. Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. **Cognitive Psychology**, p.170-194, mar. 2006.

SHTULMAN, Andrew; SCHULZ, Laura. The Relation Between Essentialist Beliefs and

Evolutionary Reasoning. **Cognitive Psychology**, p. 1049-1062, 2008.

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

SMOCOVITIS, Vassiliki B.. Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology. **Journal Of The History Of Biology**, p.1-65, 1992.

SOBER, Elliot. Population Thinking, and Essentialism. In: **Philosophy of Science**. The University Of Chicago Press On Behalf Of The Philosophy Of Science Association, 1980. p. 350-383.

THAGARD, Paul; FINDLAY, Scott. Getting to Darwin: Obstacles to Accepting Evolution by Natural Selection. **Science & Education**, 2009.

TIPPETT, Christine. Refutation Text in Science Education: a Review of Two Decades of Research. **International Journal Of Science And Mathematics Education**, p.951-970, 2010.

UNDURRAGA, Eduardo A. et al. Human's Cognitive Ability to Assess Facial Cues from Photographs: A Study of Sexual Selection in the Bolivian Amazon. **Plos One**, 2010.

## **6 Anexos**

**Anexo 1.** A base da seleção natural como apresentada por Darwin (GREGORY, 2009)

