

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
CAMPUS DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA**

MARIELLA PATTI

**A EVOLUÇÃO BIOLÓGICA NO CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO
PAULO: UMA ANÁLISE DOS CADERNOS DE APOIO.**

BAURU - SP

2017

MARIELLA PATTI

**A EVOLUÇÃO BIOLÓGICA NO CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO
PAULO: UMA ANÁLISE DOS CADERNOS DE APOIO.**

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Educação para a
Ciência, da Área de Concentração em Ensino
de Ciências e Matemática, da Faculdade de
Ciências da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Campus de
Bauru, como requisito à obtenção do título
de Mestre em Educação para a Ciência.*

*Orientador: Prof. Dr. Renato Eugênio da
Silva Diniz.*

BAURU - SP

2017

Patti, Mariella.

A Evolução Biológica no Currículo do Estado de São Paulo: uma análise dos cadernos de apoio / Mariella Patti, 2017.
114 f.

Orientador: Renato Eugênio da Silva Diniz

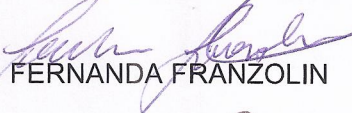
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2017.

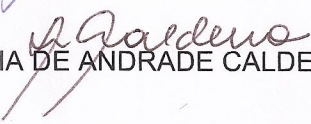
1. Evolução Biológica. 2. Ensino de Evolução Biológica. 3. Ensino de Biologia. 4. Material didático. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARIELLA PATTI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 08 dias do mês de março do ano de 2017, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-Graduação da Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. RENATO EUGENIO DA SILVA DINIZ - Orientador(a) do(a) Departamento de Educação / Instituto de Biociências - UNESP/Botucatu, Profa. Dra. FERNANDA FRANZOLIN do(a) Centro de Ciências Naturais e Humanas / Universidade Federal do ABC - UFABC, Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARIELLA PATTI, intitulada **"A EVOLUÇÃO BIOLÓGICA NO CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO PAULO: UMA ANÁLISE DOS CADERNOS DE APOIO"**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: _____Aprovada_____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. RENATO EUGENIO DA SILVA DINIZ


Profa. Dra. FERNANDA FRANZOLIN


Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA

“Science and everyday life cannot and should not be separated.”

Rosalind Franklin

“The good thing about science is that it’s true whether or not you believe in it.”

Neil deGrasse Tyson

Dedico este trabalho à memória de Charles Darwin e Carl Sagan, homens da Ciência de admirável e incansável curiosidade, por terem me inspirado desde a infância a buscar entender o fascinante Universo em que vivemos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Renato Eugênio da Silva Diniz, pela orientação paciente durante o tortuoso caminho percorrido ao longo dos estudos do mestrado e da produção desta dissertação.

À Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira, pelas orientações e sugestões sempre de grande valor, e pela inspiração em relação a História da Biologia e da Evolução Biológica.

À Prof. Dra. Fernanda Franzolin pelas sugestões e considerações acerca da presente dissertação.

Ao Prof. Dr. Rodolfo Langhi pelo acolhimento e inestimável estímulo em relação às atividades acadêmicas.

À Prof. Dra. Luciana Lunardi e os demais colegas do grupo de estudos “Ação e formação de professores de ciências e de educadores ambientais”.

Às amigas de pós-graduação Agatha Ribeiro Santana, Thalita Quatrocchio Liporini, Josiane Zaneti e Fabiana Andrade de Oliveira pelo imenso apoio e carinho.

Ao meu companheiro Carlos pelo amor, paciência e companheirismo de toda uma vida.

À minha mãe Solange pelo imenso e inestimável apoio em todas as etapas percorridas ao longo da minha vida pessoal e acadêmica.

À CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Atualmente, o entendimento da Evolução Biológica como conceito mais importante e unificador de todos os campos da Biologia é unânime entre a comunidade científica, uma vez que todas as questões relativas às Ciências Biológicas só podem ser respondidas de maneira plena através da consideração dos aspectos evolutivos. A apreensão dos elementos e processos que integram o conceito da Evolução Biológica é considerada de fundamental importância não apenas em um âmbito educacional, mas também para o desenvolvimento intelectual e social do indivíduo. Assim sendo, esta dissertação se propôs a investigar a maneira com que o conceito da Evolução Biológica vem sendo oferecido à população do Estado de São Paulo no contexto da educação pública de nível médio, não apenas de modo a verificar sua exatidão em relação ao conhecimento científico atual, mas também considerando as aproximações e distanciamentos através dos quais seus conhecimentos são transpostos. Para tanto, foi realizada uma investigação de caráter qualitativo e documental acerca do conteúdo evolutivo encontrado no material didático oferecido à Rede Pública de Ensino do Estado de São Paulo. Os resultados encontrados evidenciam que além da precisão científica dos conhecimentos oferecidos ao nível da educação formal, é fundamental a presença de um olhar meticuloso sobre a forma com que os conceitos são apresentados, em busca não apenas de uma articulação eficiente entre os conceitos relativos à processos e mecanismos evolutivos, mas também de uma ampla contextualização histórica relativa ao desenvolvimento do pensamento científico.

Palavras-chave: Evolução Biológica; Evolução; Educação científica; Ensino de Evolução; Ensino de Biologia.

ABSTRACT

Currently, the understanding of Biological Evolution as the most important and unifying concept in all fields of Biology is unanimous among the scientific community, since all questions related to Biological Sciences can only be fully answered through consideration of evolutionary aspects. The apprehension of the elements and processes that integrate the concept of the Biological Evolution is considered of fundamental importance not only in an educational scope, but also for the intellectual and social development of the individual. Thus, this dissertation proposed to investigate the way in which the concept of Biological Evolution has been offered to the population of the State of São Paulo in the context of public secondary education, not only in order to verify its accuracy in relation to the current scientific knowledge, but also considering the rigor and laxity through which their knowledge is transposed. For that, a qualitative and documentary research was carried out on the evolutionary content found in the didactic material offered to the Public Education Network of the State of São Paulo. The results show that in addition to the scientific accuracy of the knowledge offered at the formal education level, it is fundamental to have a meticulous look at the way in which the concepts are presented, seeking not only an efficient articulation between the concepts related to evolutionary processes and mechanisms, but also a broad historical context related to the development of scientific thought.

Keywords: Biological evolution; Evolution; Science education.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	39
QUADRO 2	43
QUADRO 3	44
QUADRO 4	59
QUADRO 5	60
QUADRO 6	61
QUADRO 7	64
QUADRO 8	64
QUADRO 9	74
QUADRO 10	75
QUADRO 11	80
QUADRO 12	80
QUADRO 13	86
QUADRO 14	86
QUADRO 15	88
QUADRO 16	89
QUADRO 17	91

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I: EVOLUÇÃO BIOLÓGICA.....	5
1.1. A importância da Evolução Biológica.....	5
1.2. O desenvolvimento do pensamento evolutivo.....	5
1.3. Conceitos fundamentais dentro da Evolução Biológica.....	20
1.4. Evidências do processo evolutivo.....	25
CAPÍTULO II: O ENSINO DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA	32
2.1. A importância do ensino de Biologia no Ensino Médio	32
2.2. A importância do ensino de Evolução Biológica no Ensino Médio	34
2.3. O que dizem os documentos oficiais acerca do ensino de Evolução Biológica no Ensino Médio.....	34
2.3.1. Documentos de âmbito nacional	35
2.3.2. Documentos emitidos pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo.....	39
2.4. O livro didático no ensino de Ciências.....	47
2.4.1. Algumas pesquisas acerca da Evolução Biológica nos livros didáticos.....	49
CAPÍTULO III: METODOLOGIA	52
3.1. Tipo de pesquisa	52
3.2. Material a ser analisado	55
3.3 Procedimentos de análise	56
CAPÍTULO IV: ANÁLISE E RESULTADOS	57
4.1. Localização e exploração do material	57

4.2. Categorização, descrição e interpretação dos dados	59
4.2.1. Caderno do Professor, 3ª série, Volume 2	59
4.2.1.1. Tema - Origem e Evolução da vida: hipóteses e teorias	60
4.2.1.1.1. Situação de Aprendizagem 1 - A origem da vida	60
4.2.1.1.2. Situação de Aprendizagem 2 - Evolução: Os seres em transformação	64
4.2.1.1.3. Situação de Aprendizagem 3 - Grandes linhas de evolução dos seres vivos.....	74
4.2.1.2. Tema - Origem e Evolução da vida: evolução biológica e cultural	80
4.2.1.2.1. Situação de Aprendizagem 4 - Como os seres vivos evoluíram.....	80
4.2.1.2.2. Situação de Aprendizagem 5 - A espécie humana e seus ancestrais.....	86
4.2.1.2.3. Situação de Aprendizagem 6 - A intervenção humana na evolução, as transformações nos ambientes e o futuro da espécie humana.....	88
4.3. Análise geral.....	91
 CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
 REFERÊNCIAS	104

INTRODUÇÃO

Como graduada em Ciências Biológicas com especial interesse em temas como zoologia, ecologia e biodiversidade, meu entendimento do estudo da Biologia sempre teve como premissa a idéia de que cada forma de vida existente hoje e no passado só pode ser estudada e compreendida a partir de uma perspectiva evolutiva. A Evolução Biológica, dentro da minha percepção, é o conceito fundamental a ser apreendido, tanto por estudantes do Ensino Médio, ou seja, a população jovem em grande parcela, quanto por aqueles que pretendem se graduar no ensino superior em cursos da área das Ciências Biológicas. No momento em que ingressei no curso de graduação foi com surpresa que encontrei colegas que pouco sabiam sobre Evolução Biológica, apresentavam concepções equivocadas, declaravam não ter tido contato aprofundado com o conceito durante o Ensino Médio, e, mais grave, diziam não ter interesse pois consideravam a Evolução Biológica “difícil” e “chata” de ser estudada. Alguns colegas sustentaram essa posição mesmo após termos cursado disciplinas correlatas e a disciplina de Evolução propriamente dita, e até mesmo após o término do curso. Com isso em mente, não pude deixar de me questionar sobre as causas dessa aversão e desinteresse por uma temática tão fundamental. Minha experiência pessoal me levou a pressupor que os primeiros contatos com os tópicos pertinentes à Evolução Biológica podem definir a relação que o indivíduo terá com a temática dali em diante, e também que o ensino através de conteúdos incompletos e/ou desatualizados transmitidos de maneira inadequada pode gerar incertezas e um possível distanciamento. A partir daí meus questionamentos se voltaram para o momento em que a concepção da Evolução Biológica é oferecido aos estudantes em geral: o Ensino Médio. Como uma tema tão importante é apresentado aos alunos? O conteúdo está atualizado? Os saberes científicos presentes no material didático são apresentados de maneira adequada? Este trabalho é o desenvolvimento e aprofundamento de algumas dessas questões.

Atualmente, é consenso entre a comunidade científica que a Evolução Biológica é o conceito mais importante e unificador de todos os campos da Biologia, posto que tem como objetivos desvendar a origem e as causas da diversidade da vida e das características dos organismos. Não há uma questão dentro das Ciências Biológicas que possa ser respondida

plenamente sem que os aspectos evolutivos sejam considerados. Por consequência, julga-se que a apreensão dos elementos e processos que integram o conceito da Evolução Biológica pode ser considerada de fundamental importância para que o ensino de outras áreas das ciências biológicas, como Zoologia, Genética, Ecologia e afins, possa ser desenvolvido de maneira adequada e eficiente. Além de ser indispensável para o estudo de diversas áreas de conhecimento biológico, a Biologia evolutiva também contribui para o desenvolvimento de áreas de interesse social como a medicina e a agricultura (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 2009; CHARLESWORTH e CHARLESWORTH, 2012).

Goedert, Delizoicov e Rosa (2003) e Dias e Bortolozzi (2009) afirmam que a compreensão do processo responsável pela biodiversidade e seus diferentes aspectos nos permite avaliar as relações entre a humanidade e os demais seres vivos, sendo então vital o estudo da Biologia evolutiva, seus tópicos e pontos teóricos, para a formação intelectual do indivíduo, a fim de habilitá-lo a participar de processos sociais que envolvam conhecimentos biológicos. Em consonância, dentro do perspectiva da educação formal, Carvalho, Nunes Neto e El-Hani (2011) entendem que a apreensão da Evolução Biológica e seus diversos elementos pode fornecer recursos para que os estudantes tenham uma maior compreensão da Biologia em sua totalidade. No entanto, os autores afirmam que a forma fragmentada com que os conhecimentos biológicos são abordados dentro do Ensino Médio dificulta a articulação entre suas múltiplas áreas disciplinares, prejudicando assim não apenas o interesse dos estudantes pelas ciências biológicas de maneira integral, como também que os mesmos possam desenvolver uma percepção holística do mundo vivo.

A partir disso, entendo que a realização de pesquisas acerca do ensino desta temática é de grande importância não apenas no campo educacional, como também na dimensão social, posto que a educação eficiente do conceito se constitui como ferramenta eficaz na capacitação da população para compreensão dos diferentes aspectos do mundo em que vivemos.

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos.

O primeiro apresenta um breve histórico do desenvolvimento científico do conceito de Evolução Biológica do período pré-Darwin até a atualidade, além de descrever o mecanismo de

funcionamento do processo evolutivo como entendido no momento atual, listar os conceitos básicos para sua compreensão e explicar as categorias de evidências que a embasam.

O segundo capítulo destaca a relevância do ensino da Biologia e da Evolução Biológica no contexto do Ensino Médio, e discorre acerca da do ensino de Evolução Biológica nos contextos nacional e estadual através dos documentos educacionais oficiais, além de comentar a presença do conceito em livros didáticos.

No terceiro capítulo são detalhadas as escolhas metodológicas e procedimentos da análise do material.

No quarto capítulo o material é explorado e analisado separadamente de acordo com a metodologia escolhida. Foi elaborada também uma análise geral de modo a sintetizar os achados das análises individuais.

Finalmente, no quinto capítulo são feitas considerações finais.

OBJETIVOS

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo geral investigar a presença do conceito de Evolução Biológica no material de apoio ao Currículo de Biologia do Estado de São Paulo para o Ensino Médio através da análise dos conteúdos referentes ao mesmo, considerando tanto sua precisão científica quanto o processo de transposição didática, visando assim oferecer dados que venham a colaborar com o desenvolvimento de uma maior compreensão acerca das dificuldades de ensino e apreensão do conceito pelos estudantes.

CAPÍTULO I: EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

1.1. A Importância da Evolução Biológica

A Biologia é o campo científico cujo objeto de estudo é a vida em suas mais diversas manifestações. A imensa variedade de seres vivos constantemente encontrados e descritos no planeta Terra gera, através dos estudos realizados dentro das múltiplas áreas que integram o estudo biológico, um volume ilimitado de dados que constituem uma rede complexa e intrincada de conhecimentos. A Evolução Biológica é o conceito que une todos esses conhecimentos e finalmente proporcionou à humanidade, através de mais de 250 anos de estudos, uma visão abrangente do mundo vivo presente no planeta em que vivemos (MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005), incluindo a conexão profunda da nossa espécie com todas as outras viventes, conexão essa que deve ser considerada e respeitada a fim de assegurar a continuidade da civilização humana a longo prazo (CHARLESWORTH e CHARLESWORTH, 2012).

O proeminente geneticista e biólogo evolucionista Theodosius Dobzhansky (1900-1975) resumiu a importância dos estudos evolutivos através da célebre sentença “Nada na Biologia faz sentido, exceto à luz da Evolução”. Nessa perspectiva, autores como Mayr (2009), Futuyma (1997, 2005), Ridley (2006) e Meyer e El-Hani (2005) afirmam que a compreensão completa da vida como fenômeno, do nível molecular ao ecológico, se dá através de um enfoque evolutivo ao estudo biológico, tanto do ponto de vista científico quanto de um prisma educacional. A Evolução Biológica é um fato, não uma hipótese, e as inferências e respostas formuladas a partir de suas duas questões principais, a história do processo evolutivo e os mecanismos pelos quais ele acontece afeta todos os campos do conhecimento ligados direta ou indiretamente ao estudo da vida.

1.2. O desenvolvimento do pensamento evolutivo

A enorme diversidade das formas de vida em nosso mundo atual já foi justificada através de diversos argumentos ao longo da história, em sua maioria de natureza religiosa. Da

Antiguidade até o início do século XIX as discussões acerca da existência das variadas formas de vida partiam do conceito aristotélico e platônico chamado de essencialismo. Para os essencialistas, cada espécie viva possuía uma essência, ou “ideia” perfeita, um modelo interno que delimitaria sua forma. As variações entre os espécimes eram considerados desvios imperfeitos na essência da espécie. Outro entendimento semelhante acerca do mundo natural, advindo da Antiguidade e que perdurou até meados do século XIX, era o chamado fixismo, que estabelecia que as todas as espécies eram imutáveis, permanentes em suas formas e funcionamento, possuíam finalidades definidas e eram obra de um deus criador. Não haveria elos de parentesco entre os seres vivos, e a espécie humana seria especial e superior a todas as outras espécies por ter sido criada à semelhança de uma entidade suprema (MEYER e EL-HANI, 2005; MAYR, 1998, 2009; FUTUYMA, 1997, 2005).

No entanto, ainda em meados do século XVIII, uma nova visão de mundo que desafiava as concepções essencialistas e fixistas começou a se delinear, o chamado transformismo ou evolucionismo. De maneira lenta e gradual, e através de observações e conjecturas de diversos filósofos e naturalistas, os paradigmas de que o mundo natural era estático e mantinha sua essência concebida pelo deus criador, e de que os fenômenos tinham causas pré-determinadas foram sendo substituídos pelo entendimento de que a transformação era a condição inerente da natureza, e portanto, de todo o mundo vivo. Os fenômenos ocorriam por conta de mecanismos que podiam ser compreendidos, descritos e corroborados por evidências. Lentamente, e através de um processo histórico tortuoso, o entendimento humano do mundo natural foi se alterando e sofrendo profundas mudanças nas percepções científicas acerca da origem e desenvolvimento das espécies vivas (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

O evolucionismo estabeleceu seus alicerces na ideia de que as espécies não são imutáveis, e sim o oposto: havia antes no planeta seres que não existem mais e que em diversos níveis guardam parentesco com os seres atuais. Como estabelecido anteriormente, a partir da metade do século XVIII, naturalistas como o francês George Louis Leclerc, Conde de Buffon (1707-1788) e o também francês Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) discutiram de maneira preliminar pontos teóricos do que viria a ser a teoria evolucionista moderna. Buffon, por exemplo, acreditava que a diversidade de seres vivos

resultava de um processo em que as espécies se modificavam, mas apenas dentro de um estreito limite e influenciadas pelas diferenças nos ambientes. Assim sendo, espécies “ancestrais”, que pertenceriam a um número limitado de tipos básicos, originavam subtipos, que seriam espécies variadas porém semelhantes entre si. Esse conceito é chamado de tipologia e também tem raízes platônicas e aristotélicas. Buffon também acreditava que essas espécies básicas eram fruto da geração espontânea. O raciocínio de Buffon, embora restringido pela escassez de conhecimentos e pelos paradigmas religiosos da época, já se começava a se alinhar com certos pontos que hoje se encontram no cerne da ciência evolucionista, como a ideia de que novas espécies se formam a partir da modificação de espécies ancestrais. É importante que isso seja considerado, posto que o história do desenvolvimento científico não pode prescindir os contextos social, religioso, econômico e político das épocas as quais se propõe a analisar e descrever. Cerca de cinco décadas adiante, Lamarck, um dos primeiros naturalistas a abordar a evolução dos seres vivos de maneira sistemática, sugere uma visão bastante diferente do processo evolutivo: os organismos simples, gerados também através de geração espontânea, teriam uma tendência interna de aumentar sua complexidade com o passar do tempo, ou seja, a evolução seria um processo progressivo. As espécies consideradas complexas não poderiam surgir a partir de geração espontânea, como sugeria Buffon, e sim seguiriam um processo escalar, uma sequência linear de aumento de complexidade. Para justificar a existência de organismos vivos em diversos níveis de complexidade, ele recorreu à explicação de que a geração espontânea continuava acontecendo, ou seja, novas cadeias de seres vivos surgiriam constantemente. Finalmente, para explicar as pequenas variações em espécimes dentro de uma mesma linhagem, Lamarck propôs um mecanismo, secundário ao processo evolutivo, que alterava a continuidade linear e vertical do aumento da complexidade: a influência do ambiente. As pressões ambientais forçariam mudanças no comportamento dos indivíduos, e tais pressões provocariam alterações nas estruturas dos órgãos, podendo desenvolver ou atrofiar os mesmos. A partir disso, as características desenvolvidas por tais indivíduos seriam herdadas pelos seus descendentes, modificando assim a espécie como um todo ao longo do tempo. Essa interpretação ficou conhecida como herança dos caracteres adquiridos. Embora acreditasse que a natureza e suas leis fossem criações de um deus supremo, ele entendia que essas leis funcionavam sem a intervenção

divina. A teoria evolutiva de Lamarck foi amplamente rejeitada pela comunidade acadêmica, em grande parte pois a maioria dos naturalistas da época não reconhecia as evidências que sustentavam a ideia de evolução, e os paradigmas religiosos ainda influenciavam profundamente a produção científica. Ainda hoje, Lamarck é lembrado majoritariamente por seus postulados relativos à chamada ‘lei do uso e desuso’, e à herança de caracteres adquiridos, como se fosse o único a sustentar tais teorias, que não se provaram ao longo do tempo, embora fossem amplamente aceitas pelos naturalistas na época, e como se esses fossem os únicos pontos teóricos discutidos por ele (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

Conforme indicado previamente, até meados do século XIX as discussões acerca da origem e variedade das espécies vivas eram majoritariamente influenciadas por concepções essencialistas, fixistas e tipológicas, ainda que naturalistas como Buffon e Lamarck já tivessem começado a explorar pontos importantes do processo evolutivo que viriam a ser desenvolvidos e comprovados posteriormente. Finalmente, no ano de 1858, os naturalistas Charles Robert Darwin (1809-1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913) apresentaram à comunidade científica trabalhos que pela primeira vez ofereceram uma descrição organizada do processo que dava origem à enorme diversidade de espécies vivas encontradas no mundo natural: a Evolução Biológica, que ocorria através de um mecanismo chamado seleção natural (FUTUYMA, 1997; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; CHARLESWORTH e CHARLESWORTH, 2012).

Charles Darwin nasceu em 12 de fevereiro de 1808, na Inglaterra, em uma família abastada e erudita que lhe proporcionou acesso amplo aos estudos clássicos e teológicos. Pode-se dizer que foi um naturalista desde a infância, e, após sua formatura na Universidade de Cambridge, aos 22 anos, embarcou como naturalista de bordo em um dos navios de pesquisa da marinha inglesa, o HMS *Beagle*. Ao longo dos cinco anos da viagem, visitou áreas costeiras e ilhas da América do Sul, coletando espécimes e levantando questionamentos acerca da história da Terra e das formas de vida nela encontradas. De volta à Inglaterra, se dedicou analisar e classificar os espécimes coletados. Suas observações, em especial as relativas aos padrões de distribuição biogeográficos suscitadas durante a visita ao arquipélago equatoriano de Galápagos,

em conjunto com questionamentos levantados pelo ornitólogo John Gould (1804-1881) a respeito de alguns de seus espécimes de tordo recolhidos no arquipélago, bem como seus estudos acerca das dinâmicas de população descritas pelo reverendo Thomas Robert Malthus (1766-1834) em seu *Ensaio sobre o princípio da população*, o levaram a começar a questionar o paradigma da imutabilidade das espécies (DARWIN, 2004; FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998; SADAVA et al., 2009).

Darwin era um observador minucioso e passou mais de 20 anos não apenas acumulando evidências do processo evolutivo, mas também buscando conceber um mecanismo que pudesse explicá-las. Em 1856, começou a trabalhar no texto do que pretendia que fosse sua grande obra, o livro *Natural Selection*. No entanto, em 1858, recebeu de Wallace, naturalista britânico, um manuscrito que apontava que o mesmo havia chegado ao entendimento da seleção natural de maneira independente, através de observações semelhantes de espécimes biológicos coletados não apenas na América do Sul mas também no Arquipélago Malaio. Aconselhado por amigos naturalistas, Darwin apresentou à comunidade científica partes de seus escritos acerca da seleção natural no mesmo evento em que o trabalho de Wallace foi apresentado, a reunião na Linnaean Society de Londres em 1º de julho de 1858. Embora os dois trabalhos não tenham alcançado grande repercussão, Darwin passou a trabalhar em uma versão resumida do *Natural Selection*, texto esse que foi publicado em 24 de novembro de 1959 em forma de livro sob o título *A Origem das Espécies por meio da Seleção Natural, ou a preservação das Raças Favorecidas na Luta pela Vida*. A obra, cuja primeira impressão se esgotou em apenas um dia, impactou a comunidade científica de maneira ampla e imensurável, mudando para sempre o entendimento que temos acerca do mundo em que vivemos. Em 1860, o naturalista inglês Thomas Henry Huxley (1825-1895) cunhou o termo *darwinismo* para designar as proposições feitas por Darwin em sua obra no ano anterior (MAYR, 1998, 2009; FUTUYMA, 1997; MEYER e EL-HANI, 2005; SADAVA et al., 2009).

Em *A Origem das Espécies* Darwin propõe dois princípios fundamentais para explicar a origem e diversidade das espécies vivas: todos os seres vivos descendem de um ancestral comum partir de um processo de modificação e divergência; e o principal agente de modificação é o processo chamado de seleção natural. Consequentemente, os seres vivos não seriam imutáveis,

como afirmava o fixismo, e a evolução não seria um processo linear e progressivo, como entendia Lamarck, e sim se desenvolveria através de um sem número de divergências a partir de ancestrais comuns, ou seja, todas as espécies possuiriam graus de parentesco entre si. Para representar graficamente a ideia de ancestralidade comum, Darwin recorreu à figura de uma árvore e seus inúmeros galhos, onde cada ramificação representa o surgimento de novas espécies a partir de uma espécie preexistente. Essas divergências ocorreriam por conta de variações de caracteres entre indivíduos de uma mesma população, o que, ao longo do tempo e de maneira gradual e constante, sem saltos ou descontinuidades, daria origem a diferentes populações e assim a diferentes espécies através de um processo de acumulação. Ou seja, são as populações que se modificam ao longo do processo evolutivo, e não os indivíduos, como colocado pela teoria da herança dos caracteres adquiridos. Assim sendo, o princípio que ficou conhecido como descendência com modificação explicava com eficiência até então inédita a enorme diversidade de seres encontrada na natureza. Ao embasar suas suposições através da ordenação em grande escala de evidências como o registro fóssil, a distribuição geográfica das espécies, as comparações entre anatomia e embriologia e experimentos com modificação de espécies domesticadas, Darwin desencadeou profundas mudanças no paradigma científico da época que se confirmaram e perduram até os dias atuais. No entanto, a proposição destas teorias contestava completamente os dogmas religiosos ao posicionar o homem no mesmo patamar dos demais seres vivos, o que também contribuiu para a resistência por elas enfrentada nas décadas seguintes (DARWIN, 2004; FUTUYMA, 1997; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; SADAVA et al., 2009).

O segundo princípio fundamental da teoria de Darwin, descrito também por Wallace, é o mecanismo através do qual as mudanças evolutivas ocorrem nas espécies: a seleção natural. Partindo das observações de que, embora as espécies vivas manifestem grande fertilidade, suas populações se mantêm relativamente estáveis, ou seja, os seres vivos não alcançam todo o seu potencial reprodutivo, bem como o de que a disponibilidade de recursos naturais não aumenta no mesmo ritmo das populações, Darwin, assim como Wallace, concluiu que há uma forma de competição agindo na natureza, uma “luta pela sobrevivência”, metáfora usada na época. Posto que em uma população são produzidos mais indivíduos do que os recursos naturais podem

sustentar, apenas os indivíduos mais aptos a consumir tais recursos e a lidar com os desafios ambientais aos quais estão expostos sobreviveriam o suficiente para deixar um número considerável de descendentes, em geral uma pequena parte de cada geração. Ou seja, as características hereditárias que favoreçam a sobrevivência em um determinado ambiente e período de tempo permitem que os espécimes possuidores de tal característica apresentem maior probabilidade oferecê-la aos seus descendentes. Desta forma, ao longo de sucessivas gerações, as características favoráveis a sobrevivência a diferentes pressões ambientais se tornam mais frequentes dentro de uma população, ao passo que características desfavoráveis tornam-se menos frequentes, podendo inclusive ser eliminadas. Embora o termo seleção natural tenha sido escolhido por Darwin por conta de suas observações de populações selvagens e pela compreensão de que tal processo era o responsável por toda a diversidade dos seres do planeta, a seleção artificial, ou seja, aquela produzida por criadores de animais e plantas de maneira direcionada e em ambientes controlados, também lhe era familiar, posto que ele mesmo era criador de pombos. Assim, Darwin entendeu que as seleções produzidas por criadores e as seleções encontradas em ambientes naturais eram manifestações paralelas de um mesmo processo (DARWIN, 2004; FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; SADAVA et al., 2009; RIDLEY, 2006).

Após a publicação d'*A origem das espécies* as teorias produzidas por Darwin, e, no caso da seleção natural, também por Wallace, alcançaram amplamente a comunidade científica. Embora não houvesse na época evidências moleculares e os mecanismos de herança fossem pouco compreendidos, a extensa coleta e organização de material biológico, tanto espécimes pertencentes à espécies vivas quanto aqueles de espécies extintas, na forma de fósseis, em conjunto com observações acerca da distribuição e ecologia das espécies, e estudos nas áreas de geografia e geologia, propiciaram uma base elementar para a fundamentação do processo evolutivo. Em sua obra, Darwin (2004) elenca incontáveis dados observacionais relativos a todos esses campos de estudos e fundamenta suas teorias nas correlações feitas entre eles. Ainda assim, as controvérsias permaneceram e foram alvo de intenso escrutínio nas décadas que se seguiram.

Conforme explanado acima, é de extrema importância reafirmar que, embora vulgarmente seja considerado o “criador” do evolucionismo, Darwin não desenvolveu o

pensamento evolucionista de maneira isolada. Seus postulados são parte de um processo continuado de produção científica e tiveram base em proposições feitas por estudiosos anteriores ao longo de séculos de observações. No entanto, Darwin foi o primeiro a reunir esses dados e conjecturas, estabelecer as relações entre eles e perceber que havia um mecanismo abrangente que interligava todos eles em um só processo responsável por todos os aspectos dos seres vivos.

Um equívoco comum cometido fora dos círculos acadêmicos é a percepção de que as teorias de Lamarck se opunham aos postulados de Darwin, sem considerar as nuances e particularidades de cada pensamento, a época em que ambos desenvolveram suas teorias, ou seja, com décadas de diferença, e os paradigmas aceitos amplamente pela ciência nas respectivas épocas. De fato, diversos naturalistas haviam antecipado aspectos da teoria evolucionista antes da publicação de *A Origem das Espécies*. Em um apêndice introdutório incorporado a partir da terceira edição desta obra, o próprio Darwin reconhece a produção científica das ideias evolutivas como uma cadeia de eventos ramificada, onde diversos estudiosos do mundo vivo especularam acerca da modificação das espécies, ou seja, a Evolução Biológica é produto do trabalho de inúmeros homens da ciência ao longo do tempo. Neste apêndice, Darwin lista alguns desses estudiosos e suas conjecturas, e dá atenção especial ao trabalho de Lamarck, afirmando que o mesmo foi o primeiro naturalista cujos pressupostos despertaram a atenção da comunidade científica para a possibilidade de que leis naturais fossem responsáveis pelas modificações orgânicas e inorgânicas em nosso mundo, ou seja, pode ser considerado seu precursor. No mesmo texto, Darwin reconhece Wallace como um grande naturalista cujas conclusões gerais acerca da origem das espécies biológicas se equiparam as suas, isto é, não reclama para si o mérito sobre a teoria evolutiva. De fato, Alfred Wallace é atualmente reconhecido como um dos grandes pensadores da Evolução Biológica do século XIX, e como co-propositor da ideia da seleção natural, ainda que não tenha explorado as ramificações do processo evolutivo à maneira de Darwin. Seus estudos acerca da distribuição geográfica das espécies, ou biogeografia, contribuíram enormemente para a fundamentação e desenvolvimento das teorias evolutivas (DARWIN, 2004; FUTUYMA, 1997; MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

A tese de que a evolução ocorre por descendência com modificação encontrou ampla aceitação dentro da comunidade científica, principalmente a partir de década de 1870. Contudo,

o mecanismo da seleção natural enfrentou resistência em boa parte dos naturalistas. A ausência de um mecanismo convincente de herança e a aparente falta de direção do processo evolutivo se constituíam em obstáculos que demoraram a ser ultrapassados. Além disso, considerava-se a possibilidade de que a seleção natural fosse responsável apenas por eventos de extinção, e não pelo surgimento de novas espécies. Tal suposição resultava novamente da carência de dados e também por conta do paradigma do caráter finalista do processo evolutivo (FUTUYMA, 1997; MAYR, 1998, 2009).

É importante ressaltar que nas três primeiras décadas após a publicação d'*A origem das espécies*, o pensamento darwinista era flexível à possibilidade de que houvessem outros mecanismos evolutivos auxiliares, incluindo a herança de caracteres adquiridos. Até mesmo Darwin admitia essa possibilidade. O darwinismo era portanto mais abrangente e palatável aos naturalistas que não aceitavam a seleção natural. No entanto, os paradigmas acerca da evolução continuaram a se modificar de maneira fluída, e ao final do século XIX a seleção natural voltou a ser considerada o principal mecanismo evolutivo por parte da classe científica. O naturalista alemão August Weismann (1834-1914), através de seu ensaio *On heredity*, publicado em 1883, foi um dos primeiros evolucionistas a negar completamente a herança dos caracteres adquiridos e a afirmar que a seleção natural era o único mecanismo de modificação através do qual evolução operava. Deste modo, Weismann foi um dos principais defensores do movimento que foi chamado de selecionismo. A reação dos naturalistas adeptos de outros mecanismos evolutivos gerou correntes evolucionistas alternativas completamente contrárias a seleção natural. Entre elas, por exemplo, estava o neolamarckismo, onde a herança dos caracteres adquiridos assumia papel central no processo evolutivo, corrente esta que perdeu força quando experimentos visando sua legitimação não encontraram os resultados esperados (MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; FUTUYMA, 1997).

Outra corrente alternativa ao darwinismo foi a chamada mutacionismo, que defendia que as mutações seriam as principais responsáveis pela modificação das espécies, posto que o que podemos chamar atualmente de genética experimental havia demonstrado a ocorrência de súbitas alterações herdáveis nos seres vivos, ou seja, as mutações. Nesta perspectiva, a evolução ocorreria aos saltos e de maneira brusca, a partir de uma espécie ancestral que continuaria a

existir pois sua população não seria afetada durante o processo (MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; FUTUYMA, 1997).

Tal pensamento se desenvolveu na primeira década do século XX, após a redescoberta dos trabalhos do monge e botânico Gregor Johann Mendel (1822-1884), no ano de 1900. A herança mendeliana ou mendelismo é o conjunto de princípios relativos à transmissão hereditária de características de um ser vivo aos seus descendentes, as chamadas leis de Mendel, que deram origem ao que hoje conhecemos por genética. A revisão dos trabalhos de Mendel conduziu a ideia de que a herança se dava através de partículas, ou seja, genes, e não através da fusão de fluídos dos organismos progenitores (MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; FUTUYMA, 1997).

Geneticistas amplamente reconhecidos como H. de Vries, W. Bateson e T.H. Morgan eram adeptos das ideias mutacionistas. Com a compreensão do mecanismo de herança mendeliana a ocorrência das mutações passou a contar com uma sólida base experimental de dados, ao passo que a seleção natural se apoiava em inferências e observações indiretas. O processo de mutação passou a ser visto como força reguladora da evolução. Como as mutações demonstradas pelos experimentos genéticos davam origem a mudanças bruscas e significativas de uma geração para outra, a ideia de que as variações sutis sobre as quais a seleção natural atuava fossem herdáveis e relevantes se fragilizou. A seleção natural seria então apenas um mecanismo secundário de eliminação de mutações não vantajosas dentro de uma população. Tal polarização de ideias aconteceu justamente porque os mecanismos de herança ainda eram mal compreendidos. Assim sendo, os estudiosos da evolução se dividiram em dois grupos: o de geneticistas, que tinham como foco a variedade genética das populações, e os naturalistas, que se debruçavam sobre a especiação geográfica e na formação de táxons superiores (MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; FUTUYMA, 1997; RIDLEY, 2006).

A partir da década de 1920, contudo, o darwinismo e o mendelismo passaram a se aproximar, majoritariamente por conta de estudos no campo da genética de populações. Ao longo da década de 1930, os cientistas Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), John B. S. Haldane (1892-1964) e Sewall Wright (1889-1988) demonstraram separadamente, através de modelos matemáticos, que a variação de caracteres observada pelos evolucionistas poderia ser explicada

pela herança mendeliana e pela seleção natural sem a necessidade de quaisquer outros mecanismos. Assim sendo, entendeu-se que dentro das populações ocorre a dispersão de características favoráveis à sobrevivência e reprodução, e consequentemente, das ‘partículas’ (genes) responsáveis por tais características, e tal processo ocorre de maneira gradual. A Evolução Biológica pode então ser entendida como a mudança na frequência de determinadas características (hoje entendida como frequência gênica) de uma população, e não produto de mutações repentinas. A dispersão de uma mutação dentro do *pool gênico* de uma população depende de diversos fatores como a taxa de ocorrência desta mutação, o nível de favorecimento proporcionado por ela e o tamanho da população (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998, 2009).

Contudo, o impacto dos trabalhos de genética populacional só foi assimilado de maneira ampla pelos evolucionistas a partir da publicação em 1937 do livro *Genetics and the Origin of Species*, do geneticista e evolucionista ucraniano-americano Theodosius Grygorovych Dobzhansky (1900-1975). Dobzhansky é hoje reconhecido como uma das figuras centrais dentro da expansão da Biologia evolutiva, posto que seus esforços em unir o conhecimento da genética com os conhecimentos da história natural, a saber, principalmente dos campos de sistemática e paleontologia, foram cruciais para o movimento que culminou na construção da chamada teoria sintética da Evolução, síntese evolutiva ou neodarwinismo. Deste modo, entre os anos de 1936 e 1947, aproximadamente, as teorias evolutivas de Darwin e os conhecimentos da genética se integraram em uma nova teoria neodarwinista acerca da origem e variedade das espécies (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

A síntese evolutiva determina que a diversificação das espécies selvagens se dá através de uma combinação de processos. A diversidade das formas de vida é resultado da variação de características dentro de uma população ao longo do tempo em escala geológica, variação esta que ocorre por conta das variações genéticas, sendo essa variabilidade genética atribuída à dois processos: a recombinação genética, ou gênica, que constitui-se na troca aleatória de material genético durante o processo de meiose, ou seja, a produção de gametas, e por conta da reprodução sexual; e também ao processo de mutação, que consiste em modificações súbitas e aleatórias que podem ocorrer em um gene, e, caso sejam evolutivamente favoráveis, o que é

incomum, e atinjam células germinativas, a característica correspondente será passada aos descendentes daquele organismo. A recombinação gênica permite, além da troca de material genético, a dispersão de mutações. As variantes genéticas adaptativas geram pequenos efeitos nos indivíduos, e essas variações nas características alimentam o mecanismo da seleção natural ao longo do tempo geológico (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; RIDLEY, 2006).

Há também o processo da deriva genética, onde o acaso, e não a seleção natural, é responsável por variações genéticas dentro de uma população (FUTUYMA, 1997; MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; RIDLEY, 2006).

E finalmente, o fluxo gênico, que é a variação genética provocada pela migração entre populações de uma mesma espécie (FUTUYMA, 1997, 2005; SADAVA et al., 2009; RIDLEY, 2006).

Portanto, a seleção natural, a deriva genética e o fluxo gênico em conjunto conduzem as populações à modificações lentas e graduais, e, através do isolamento geográfico e/ou reprodutivo, à diversificação das espécies por meio do processo da cladogênese através de eventos de especiação. Assim sendo, a seleção natural é entendida como um dos mecanismos responsáveis pela evolução, e não o único ou principal. A síntese evolutiva foi capaz de explicar os pontos ainda vagos nas teorias de Darwin, a saber, como se originam as novas características e como as características são herdadas.

É também importante considerar que a seleção natural não produz organismos perfeitamente adaptados, posto que os ambientes se modificam constantemente, ou seja, as populações estão lenta e continuamente se modificando em escalas de tempo geológicas. Ainda que as pressões ambientais se mantivessem estáveis, para que uma espécie pudesse se adaptar de maneira perfeita a um ambiente seria necessário que absolutamente todas as variantes gênicas possíveis estivessem acessíveis para aquela população, o que não ocorre. As características selecionadas nas populações são meramente as mais favoráveis disponíveis no *pool gênico* da mesma em determinado momento. Além disso, a seleção natural atua nos organismos em sua totalidade, e não com foco em apenas uma ou outra característica ou estrutura específica. Assim sendo, grande parte delas pode ser apenas subproduto de outras características favorecidas. E

finalmente, características atualmente funcionais podem não ser adaptações de determinadas pressões seletivas, mas sim readaptações da mesmas para novas funções diferentes daquelas que as selecionaram primariamente. São as chamadas exaptações (MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

Sob esse entendimento, fica claro que a Evolução Biológica não tem o poder de equipar uma espécie para contingências futuras, bem como não possui um caráter direcional, e sequer segue propósitos pré-determinados, posto que é um processo em que as populações apenas “reagem” à pressões evolutivas (FUTUYMA, 1997, 2005; SADAVA et al., 2009; RIDLEY, 2006).

Recapitulando, o processo evolutivo se dá através de uma conjunção dos mecanismos de seleção natural, deriva genética e fluxo gênico. A seleção natural depende da variação de características dentro de uma população, variação essa de caráter fenotípico e com base genotípica. Essa variação genética é resultado dos processos de recombinação gênica e mutação. Já a deriva genética é fruto do acaso, e o fluxo gênico resulta dos processos migratórios. Esses três mecanismos, através do isolamento geográfico e/ou reprodutivo, de maneira gradual e ao longo do tempo geológico, levam à diversificação das espécies, ou seja, ao processo chamado de Evolução Biológica (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 2009; RIDLEY, 2006).

Além de Dobzhansky, diversos outros biólogos contribuíram de maneira significativa para o desenvolvimento e disseminação da síntese evolutiva. Entre eles, podemos citar Ernst Walter Mayr (1904-2005), por seus trabalhos acerca da natureza da variação geográfica e do processo de especiação em publicações na década de 1940, George Gaylord Simpson (1902-1984), cujos trabalhos nas décadas de 1940 e 1950 demonstraram que os dados paleontológicos eram consistentes com a síntese evolutiva, Julian Sorell Huxley (1887-1975), que em 1942 escreveu a síntese mais abrangente entre a genética e a sistemática, e George Ledyard Stebbins (1906-2000), que em 1950 uniu a sistemática e a genética vegetais, descrevendo assim o processo de evolução das plantas (FUTUYMA, 1997, 2005). Podemos perceber que o processo científico acerca da Evolução Biológica continuou a se desenvolver enormemente no período pós-Darwin, e até os dias atuais, com a contribuição de incontáveis

cientistas em diversos campos de pesquisa, através da produção de dados que corroboram uns aos outros e fortalecem a Evolução Biológica como fato científico.

Embora a síntese evolutiva tenha conduzido a comunidade científica a um relativo consenso sobre os mecanismos da Evolução, ainda havia pontos em que a incerteza dos dados causava controvérsias. Em 1953 a química inglesa Rosalind Franklin (1920-1958), através do uso de difração de raios-x, obteve imagens inéditas das fibras de DNA. Seus dados foram utilizados pelos biólogos James Dewey Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004) na construção do modelo molecular que descreveu pela primeira vez a estrutura do DNA, resolvendo assim diversas questões acerca da natureza e dos processos de mutação e variação genética. Um dos pontos ainda incertos relativos ao campo de genética de populações pode finalmente ser resolvido quando confirmou-se que há uma grande variabilidade genética dentro das populações. No entanto, a presença de uma ampla variabilidade genética gerou uma nova questão: a maior parte dessa variabilidade é neutra e portanto evolutivamente equivalente, ou as variantes genéticas são a grande fonte de novas adaptações por possuírem valores adaptativos variados e significativos? Essa questão pode ser entendida como a controvérsia entre o neutralismo e o selecionismo. Enquanto o neutralismo, que tem o geneticista japonês Motoo Kimura (1924-1994) como uma de suas figuras centrais, entende que a deriva genética, ou seja, o acaso, é responsável pela fixação ou eliminação da maior parte das variantes genéticas geradas pelas mutações, uma vez que a maioria delas é seletivamente neutra, o selecionismo conclui que a maior parte das variantes genéticas apresenta valor adaptativo relevante e portanto é fixada pela seleção natural. Essas duas interpretações não são antagônicas, mas sim complementares, e são aceitas por cientistas que estudam as duas correntes, sendo que a discussão se dá no sentido de mensurar a quantidade de variantes neutras ou não dentro de uma população (FUTUYMA, 1997, MEYER e EL-HANI, 2005; RIDLEY, 2006).

Fica claro portanto que a genética molecular auxiliou e auxilia de maneira inestimável os estudos evolutivos ao trabalhar a Evolução Biológica em níveis moleculares e corroborar dados e proposições encontrados nos outros campos de pesquisa. Tais estudos constituem o campo chamado atualmente de genética evolutiva.

Na década de 1970 os cientistas Niles Eldredge (1943-) e Stephen Jay Gould (1941-2002) propuseram um modelo diferente para explicar como as mudanças evolutivas acontecem, a chamada teoria do equilíbrio pontuado, também conhecida como pontualismo ou saltacionismo. A partir de observações do registro fóssil, Eldredge e Gould postularam que as espécies atravessam longos períodos geológicos em uma aparente estase seguidos de modificações evolutivas significativas que ocorrem de maneira atípica e localizada, ou seja, a partir de pequenas subpopulações em um período geologicamente curto. A formação de novas espécies se daria por cladogênese, ou seja, ramificações nas árvores filogenéticas a partir de eventos de especiação. Assim sendo, as espécies sofreriam poucas mudanças evolutivas ao longo da maior parte de sua história no tempo geológico. Tal compreensão contrasta com a percepção de que a evolução é um processo uniforme lento e gradual, onde linhagens inteiras se modificariam e formariam novas espécies também através do processo de adaptação ou anagênese. Eldredge e Gould afirmaram que o registro fóssil não mostra sinais de evolução gradual, e sim de estase nas espécies, como se o processo evolutivo ficasse “em suspenso”. No entanto, o registro fóssil pode não se constituir em uma sólida evidência posto que o processo de fossilização ocorreu de maneira rara e esparsa ao longo das eras geológicas (FUTUYMA, 1997; GOULD, 2001). Para Gould (2001), a Evolução se dá através de mudanças pontuais nas variações de um conjunto de caracteres de modo que uma nova espécie possa surgir e ocorra ampla ramificação de linhagens dentro de uma árvore filogenética. Assim sendo, o processo evolutivo bem sucedido se dá através da grande dispersão ecológica das várias espécies que surgem a partir de uma mesma linhagem através de eventos de especiação, ou seja, da ocorrência do equilíbrio pontuado.

Ao longo da década de 1960 outra diferente interpretação acerca do processo evolutivo se delineia, tendo como base uma visão centrada nos genes: o chamado genocentrismo, que entende que a seleção natural deve ser ponderada por uma perspectiva gênica, posto que as características hereditárias que são objeto de seleção são passadas através do DNA. Tal interpretação se popularizou em 1976 com a publicação do livro *O gene egoísta*, do escritor e evolucionista inglês Richard Dawkins (1941-). Para Dawkins, o gene é a unidade primordial de seleção, e não o indivíduo e a população, como defendem Ernst Mayr e Stephen Jay Gould. O indivíduo tem sua importância, porém, se constitui somente em uma combinação efêmera de um conjunto de

genes. Para Dawkins, a seleção atua diretamente nos genes, favorecendo aqueles que ao longo do tempo geológico apresentam uma maior capacidade de replicação e colaboração entre si, formando grupos “cooperativos” que se reúnem em *pools gênicos*. Os genes são por ele chamados de “egoístas” pois seu “propósito” se constitui na difusão deles mesmos ao longo do tempo geológico. Sendo os genes as unidades centrais da evolução, Dawkins percebe os organismos como máquinas de sobrevivência através das quais os genes se dispersam. Para o genecentrismo inclusive as características comportamentais como altruísmo e relações de parentesco são determinadas pela força dispersora dos genes. No entanto, no que se refere ao homem moderno, o autor propõe a consideração de uma segunda unidade de seleção que consiste na transmissão cultural, ou imitação, chamada por ele de *meme*. Ou seja, para Dawkins, a transmissão cultural ocorre de maneira semelhante à transmissão genética, sem no entanto que haja conexão entre as duas (DAWKINS, 2007).

Ao estudar o desenvolvimento histórico do conceito de Evolução Biológica podemos observar claramente o caráter vivo da ciência e percebê-la como atividade dinâmica, influenciada por fatores sócio-culturais e baseada em paradigmas estabelecidos pela comunidade científica de cada época. A relação entre seus paradigmas, controvérsias e contextos históricos presentes no desenvolvimento do pensamento evolutivo evidenciam como a ciência é produzida. Podemos notar, por exemplo, que dados obtidos em diversos campos de estudo biológico ao longo do século XX confirmaram muitas das proposições feitas por Darwin e seus contemporâneos. Em certos casos, houve a reinterpretação de pontos teóricos específicos, mas de uma perspectiva geral, a Evolução Biológica como entendida pelo darwinismo foi certificada pelos dados experimentais. Ainda assim, diferentes perspectivas acerca do modo com que a evolução e seus mecanismos ocorrem continuam a ser levantados e debatidos, confirmados e refutados, precisamente da maneira com que o processo científico deve ser conduzido.

1.3. Conceitos fundamentais dentro da Evolução Biológica

Atualmente, o conceito de Evolução Biológica engloba uma rede intrincada de conceitos pertinentes a vários campos de estudos, conceitos esses utilizados para descrever os mais variados mecanismos que compõem o processo evolutivo.

A Evolução Biológica, como entendida atualmente, se constitui em uma mudança nas características apresentadas pelas populações de organismos ao longo de sucessivas gerações, sendo que essas propriedades ou características são transmitidas através do material genético. Ou seja, a mudança na frequência de genes ao longo do tempo (MAYR, 2009; FUTUYMA, 1997, 2005; SADAVA et al., 2009; RIDLEY, 2006; MEYER e EL-HANI, 2005; CHARLESWORTH e CHARLESWORTH, 2012).

Futuyma (1997) define a Evolução Biológica da seguinte maneira:

... é a mudança nas propriedades das populações dos organismos que transcendem o período de vida de um único indivíduo. (...) As mudanças nas populações que são consideradas evolutivas são aquelas herdáveis via material genético, de uma geração para a outra. (FUTUYMA, 1997, p. 7)

Em consonância, Charlesworth e Charlesworth (2012) sustentam que “A Evolução Biológica implica mudanças nas características de populações de organismos vivos ao longo do tempo (p. 13).

Mayr (2009) afirma que a partir da síntese evolutiva a comunidade científica finalmente entrou em consenso, definindo assim que a “Evolução é a mudança das propriedades de populações de organismos ao longo do tempo” (p. 28). É importante ressaltar que Mayr entende a evolução através de uma perspectiva populacional, posicionando **a população como a unidade evolutiva fundamental**, posto que é nela que o processo evolutivo como um todo atua, e o indivíduo como unidade evolutiva secundária, porém também fundamental, pois o mesmo se constitui no principal objeto da seleção. Assim sendo, embora os genes, indivíduos e espécies ofereçam perspectivas indispensáveis para o pensamento evolutivo, é a modificação das populações que caracteriza a Evolução Biológica. O autor, um dos principais evolucionistas do século XX, é crítico contundente da perspectiva genecentrista em que o gene é entendido como o objeto da seleção, sendo portanto sua principal unidade fundamental, e a classifica como um ponto de vista “obsoleto”. Nessa perspectiva, Mayr (2009) estabelece:

A evolução tem a ver com os fenótipos dos indivíduos, com as populações, com as espécies; não é uma “mudança na frequência de genes”. As duas unidades mais

importantes da evolução são o indivíduo, o principal objeto da seleção, e a população, o palco da evolução diversificada. (MAYR, 2009, p. 17)

No entanto, é fundamental salientar a diferença entre essas duas unidades: o indivíduo se constitui no **objeto da seleção**, ao passo que a população é o **objeto do processo evolutivo** propriamente dito. Em consonância, Sadava et al. (2009) ressaltam que “indivíduos não evoluem, as populações sim” (p. 489).

Ridley (2006) define Evolução Biológica como “a mudança entre gerações de uma população de uma espécie” (p. 28).

A Evolução Biológica pode ser observada através das perspectivas macro, a chama macroevolução, e da perspectiva micro, a microevolução. As duas perspectivas são complementares e juntas oferecem um panorama geral do processo evolutivo, e não devem ser percebidas como antagônicas. Evolucionistas como Mayr e Dobzhansky se esforçaram em situar as duas perspectivas dentro de uma visão mais ampla da evolução ao afirmar que “os mecanismos da microevolução explicam adequadamente o fenômeno macroevolutivo e que as mudanças macroevolutivas são compostas de eventos microevolutivos” (FUTUYMA, 1997, p. 418).

Segundo Futuyma (1997), a macroevolução refere-se às mudanças evolutivas suficientemente relevantes para a distinção de táxons superiores, ou seja, ao nível de espécie ou acima. Está relacionada a eventos de formação de novas espécies, a saber, pelos processos de cladogênese (através de eventos de especiação) e anagênese e ao longo do tempo geológico.

Alguns conceitos importantes para a compreensão da macroevolução são:

- Filogenia - Genealogia de um grupo de táxons ou linhagem, e também pode ser aplicada de genes derivados de um gene ancestral comum. Segundo Sadava et al. (2009), “É a descrição da história evolutiva de relações entre organismos (ou de suas partes)” (p. 543).
- Tempo Geológico - Escala temporal que se refere a milhares e milhões de anos.

- Cladogênese - Ramificação da árvore filogenética através de especiação, ou seja, quando a partir de uma espécie ancestral originam-se duas ou mais espécies. Segundo Futuyma (1997), é “a divergência das diferentes linhas genéticas a partir de um ancestral comum” (p. 233). Para Sadava et al. (2009), a cladogênese se dá através da especiação, que se constitui no “processo pelo qual uma espécie se divide em duas ou mais espécies filhas, que então passam a evoluir como espécies distintas” (p. 510). Mayr (2009) afirma que a cladogênese “consiste na subdivisão de linhagens evolutivas ou, de forma mais geral, no surgimento de novos ramos (clades) na árvore filogenética” e “sempre se inicia com um evento de especiação” (p. 31-32), e declara que seu estudo é uma das principais ferramentas das pesquisas macroevolutivas.
- Anagênese - Mudança direcional dentro de uma única linhagem (FUTUYMA, 1997). Para Mayr (2009), é a “transformação gradual de um ancestral em seus descendentes” (p. 31), ou seja, evolução progressiva.
- Especiação geográfica (ou especiação alopátrica) - Formação de novas espécies devido à divisão de uma população por barreiras físicas que impedem o fluxo gênico (SADAVA et al., 2009). Segundo Mayr (2009), é a origem de uma nova espécie através do “isolamento por parte de uma população geograficamente isolada da espécie parental” (p. 326). O isolamento geográfico pode conduzir duas populações de uma mesma espécie a um isolamento reprodutivo, impedindo assim o fluxo de genes entre elas. O acúmulo das diferenças genéticas ao longo do tempo geológico afasta as duas populações até que elas se constituam em espécies distintas (FUTUYMA, 1997; RIDLEY, 2006).

Já a microevolução refere-se à mudanças evolutivas dentro de uma população. Ou seja, são as transformações relativas aos aspectos genéticos, ou seja, no genótipo, e também a mudanças na frequência dos alelos em uma determinada população, mudanças estas cujos efeitos se manifestam de modo fenotípico.

Alguns conceitos importantes para a sua compreensão são:

- Seleção Natural - Um dos principais mecanismos pelos quais a Evolução Biológica atua, responsável pela adaptação fenotípica das populações em diferentes ambientes. Segundo Futuyma (1997), é “A sobrevivência e/ou reprodução diferencial de classes de entidades que diferem em uma ou mais características hereditárias” (p. 585). De acordo com Sadava et al. (2009), a seleção natural é “a contribuição diferencial para a próxima geração de filhotes gerados pelos vários tipos genéticos pertencentes a uma dada população” (p. 489). Já Mayr (2009) a coloca como o “Processo através do qual a cada geração os indivíduos menos aptos de uma população são eliminados” (p. 331).
- Deriva genética - Mudanças aleatórias nas frequência de alelos. Segundo Mayr (2009), é a mudança nas frequências gênicas de uma população por conta do acaso, e não da seleção natural. Embora tal processo possa gerar mudanças significativas em níveis moleculares de uma geração para outra, essas variações genéticas podem ser equivalentes entre si e não afetar as taxas de sobrevivência e reprodução de seus portadores (SADAVA et al., 2009). De acordo com Futuyma (1997), a deriva genética, embora atue sobre alelos adaptativamente neutros, provoca um acúmulo de variações nas frequências gênicas que podem vir a se tornar seletivamente relevantes.
- Fluxo gênico - É a variação gênica ou genética provocada pela migração de indivíduos entre populações através do movimento de gametas (SADAVA et al., 2009). Futuyma (1997) entende como “A incorporação de genes no conjunto gênico de uma população a partir de uma ou mais populações” (p. 581).
- Mutação - Alteração accidental na seqüência de pares de base de um gene. De acordo com Mayr (2009), é “qualquer alteração herdável do material genético, mais comumente um erro de replicação durante a divisão celular, resultando na substituição de um alelo por outro diferente” (p. 329).

- Recombinação genética ou gênica - Troca recíproca de genes que em os mesmo não são alterados. Resulta de dois processos, a reprodução sexual e a fase de meiose da formação de gametas. Mayr (2009) define da seguinte maneira: “Um rearranjo dos genes em um novo zigoto como resultado do *crossing over* e da redistribuição dos cromossomos durante a meiose” (p. 330-331).
- Genótipo - É conjunto de genes de um indivíduo (MAYR, 2009). Uma coleção de genes responsáveis pelo direcionamento de uma característica ou caracter apresentado por um organismo individual (SADAVA et al., 2009).
- Fenótipo - É a manifestação morfológica, fisiológica, bioquímica, comportamental, ou seja, uma característica ou caracter, de um gene ou conjunto de genes de um organismo (SADAVA et al., 2009). Em consonância, Mayr (2009) define como o “conjunto de todas as características observáveis de um indivíduo desenvolvido ou em desenvolvimento, incluindo as anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e comportamentais” (p. 327).

1.4. Evidências do processo evolutivo

A ciência atualmente dispõe de uma vasta gama de evidências de que o processo evolutivo ocorre, ou seja, de que a Evolução Biológica é uma realidade. Tais evidências podem ser classificadas em diversas em categorias (FUTUYMA, 1997; SADAVA et al., 2009; MAYR, 2009; RIDLEY, 2006; MEYER e EL-HANI, 2005):

- Caracteres homólogos

A comparação entre estruturas anatômicas, comportamentos ou outros tipos de caracteres presentes em espécies ou grupos de espécies diferentes frequentemente revela semelhanças significativas que podem indicar uma mesma origem, ou seja, que tais espécies descendem de

um ancestral comum. São os chamados caracteres homólogos. Mayr (2009) define “um caracter presente em dois ou mais táxons é homólogo quando resulta do mesmo caracter do ancestral comum mais próximo” (p. 36). No caso da morfologia, os estudos de anatomia comparada indicam que, para que diferentes espécies apresentem uma estrutura semelhante, porém adaptada ao ambiente e modo de vida de cada uma, ou seja, equivalentes, é provável que haja uma origem comum, resultado de uma herança parcial de genótipos presentes no ancestral mais próximo entre duas ou mais espécies. Por conta disso, segundo Mayr (2009), quaisquer traços definidos geneticamente podem ser apresentar homologia e não apenas os anatômicos. Uma característica anatômica pode ser considerada homóloga não só pela semelhança morfológica, mas também através de critérios como a posição em relação a estruturas e órgãos próximos, a presença da mesma em estágios intermediários em outros táxons e em ancestrais fósseis, semelhanças na ontogenia e concordância com outras homologias. Um exemplo clássico de homologia, citado por Mayr (2009, p. 48), são os ossos que formam as patas dos mamíferos terrestres, os ossos das nadadeiras dos mamíferos aquáticos e os ossos presentes nas asas de morcegos. Embora pertençam a estruturas diferentes, adaptadas a funções diferentes, são variações de uma mesmo conjunto de ossos, selecionados ao longo do tempo através do processo evolutivo de acordo com as pressões ambientais exercidas sobre as populações e os nichos ecológicos ocupados por elas. Embora apresentem diferenças fenotípicas, sua raiz genotípica é a mesma, advinda do ancestral comum à esses grupos de táxons (MAYR, 2009; FUTUYMA, 1997; RIDLEY, 2006; MEYER e EL-HANI, 2005).

- Semelhanças moleculares

Em consonância, a Biologia molecular permite não só que o parentesco entre determinadas táxons sejam comprovado através do sequenciamento, análise e confronto de seus códigos genéticos, mas também que a ancestralidade comum seja comprovada. Além de as diferenças entre o patrimônio genético de todas as espécies vivas ser muito pequena, o mecanismo bioquímico que processa tais informações é praticamente idêntico. Por conta dos mecanismos do processo evolutivo as moléculas de DNA passam por alterações que resultam nas

modificações macroscópicas, fenotípicas, embora molecularmente a maior parte do código genético continue o mesmo. No entanto, as pequenas diferenças no genótipo permitem que a filogenia das espécies seja traçada de maneira definitiva. Em alguns casos em que evidências morfológicas se mostravam ambíguas o parentesco entre duas espécies só foi definido através da análise molecular, mas é fato que parentescos inferidos por semelhanças morfológicas quase sempre se confirmam através da Biologia molecular (MAYR, 2009; FUTUYMA, 1997, RIDLEY, 2006).

- Semelhanças embrionárias

Outra linha de evidências a partir de semelhanças entre espécies é a embrionária. Embriões de animais em geral são extremamente semelhantes entre si, principalmente em seus estágios iniciais, ainda que sejam muito diferentes em suas formas adultas. Quanto mais o desenvolvimento de um embrião progride, mais ele se diferencia em direção às características específicas do táxon a qual pertence. No entanto, embriões e larvas constantemente apresentam caracteres inerentes à linhagem filética da qual fazem parte, ainda que em suas formas adultas tais caracteres não estejam presentes. Tal fato indica a presença de caracteres moleculares, ou seja, genotípicos, procedentes de ancestrais comuns (MAYR, 2009; RIDLEY, 2006; CHARLESWORTH e CHARLESWORTH, 2012).

- Convergência evolutiva ou analogia

Uma convergência ocorre quando um traço ou característica fenotípica de função semelhante ocorre em táxons diferentes de maneira independente, ou seja, sem advir genotipicamente de um ancestral comum, por conta de pressões seletivas similares. A seleção natural, nesse caso, favorece uma mesma habilidade evolutivamente vantajosa dentro de populações de espécies diferentes independente do caminho evolutivo percorrido pela estrutura (MAYR, 2009; RIDLEY, 2006). Sadava et al. (2009) cita o exemplo das asas dos morcegos e das aves: embora a estrutura óssea dessas estruturas sejam homólogas, isto é, tem origem no

genótipo de um ancestral comum, as asas em si são análogas, pois adaptação para o voo dos membros anteriores nesses táxons evoluiu maneira independente por conta de pressões similares - a saber, a dispersão em nichos ecológicos aéreos.

- Estruturas vestigiais

Estruturas vestigiais são aquelas que são parcialmente funcionais, ou não apresentam função aparente no organismo de uma espécie ou grupo de espécies, mas exerciam função ativa em espécies ancestrais, e portanto possuem a mesma raiz genotípica. Além disso, podem aparecer de maneira funcional em outras espécies derivadas de um mesmo ancestral comum. Postula-se que tais estruturas tiveram suas funções reduzidas ou extintas através de modificações nos nichos ecológicos ocupadas pelas espécies. Exemplos comuns, citados por Mayr (2009, p. 53) e Charlesworth e Charlesworth (2005) são o apêndice ileocecal humano, que é uma versão reduzida de um segmento do trato digestivo extenso encontrado em orangotangos, e a presença de dentes nos embriões de baleias da subordem Mysticeti, que em sua forma adulta possuem barbatanas queratinosas (MAYR, 2009).

- Registro fóssil

O registro fóssil é considerado uma das categorias de evidências mais contundentes da ocorrência da Evolução Biológica por ser a única fonte direta de informações sobre a história da vida. Os estudos paleontológicos apresentam resquícios (restos de organismos propriamente ditos) e vestígios (amostras da presença da espécie, como pegadas e moldes) de organismos extintos, isto é, que não podem mais ser encontradas atualmente, mas que guardam diversas semelhanças em relação à espécies contemporâneas. De fato, frequentemente verificam-se semelhanças entre os fósseis e as populações de organismos contemporâneos encontrados em uma mesma região, ou regiões que estiveram próximas em eras geológicas passadas. Os fósseis são encontrados em estratos geológicos antigos, sendo que os sucessivos estratos depositados a cada período geológico contém resquícios e vestígios dos organismos presentes nestes mesmos

períodos, fornecendo assim um panorama amplo da ocorrência e distribuição de espécies vivas no decorrer do tempo geológico. A observação do registro fóssil ao longo dos estratos geológicos indica uma coerência na modificação dos aspectos fenotípicos que pode ser explicada apenas através da ocorrência do processo evolutivo. Embora o registro fóssil seja predominantemente descontínuo e quase todas as séries filogenéticas apresentem grandes lacunas, tal fato não contradiz a ocorrência do processo evolutivo uma vez que a probabilidade de que um organismo se fossilize é extremamente baixa (MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; FUTUYMA, 1997; SADAVA et al., 2009; RIDLEY, 2006; CHARLESWORTH e CHARLESWORTH, 2012; DARWIN, 2004).

- Biogeografia

Os padrões de distribuição geográfica das espécies de organismos vivos podem ser amplamente justificados através do processo evolutivo, não apenas no aspecto fóssil, mas também no que se refere à espécies existentes no presente. Através de uma perspectiva evolutiva fica claro que a atual distribuição das espécies se deve à dispersão a partir de pontos de origem, e a observação da distribuição das espécies vivas hoje pelo planeta demonstra que espécies com grandes semelhanças entre si ocorrem em locais geograficamente próximos. A justificativa evolutiva de que espécies preexistentes dão origem à novas espécies através dos mecanismos de dispersão e modificação pode ser corroborada por esses padrões de distribuição e parentesco encontrados nas populações, bem como pelo registro fóssil amplamente levantado pela Paleontologia (MEYER e EL-HANI, 2005; MAYR, 2009).

O processo da Evolução Biológica não se constitui de teorias fechadas, definitivas. Debates acerca de seus processos e mecanismos continuam acontecendo, em consonância com a própria natureza das ciências, ou seja, sempre em busca de novas hipóteses e maneiras de se observar e compreender as espécies vivas de nosso planeta. No entanto, sua ocorrência é uma realidade, e sua legitimidade é atestada através de evidências incontestáveis e ampla compreensão de seus mecanismos fundamentais.

A partir disto, entendemos que existem elementos fundamentais a serem apreendidos dentro da Evolução Biológica em uma perspectiva de ensino de nível médio, a fim de que o estudante adquira uma base teórica composta por conhecimentos que possam subsidiar estudos mais aprofundados no futuro (DIAS e BORTOLOZZI, 2009).

Em primeiro lugar, são importantes os aspectos históricos do desenvolvimento da teoria evolutiva, dentro de uma perspectiva que esclareça que a ciência é um processo de produção de conhecimento não linear, e está sujeita a influências diretas do momento histórico em que está situada. Para tanto, entendemos que é necessária a compreensão das algumas das concepções acerca da origem da variabilidade de espécies anteriores ao desenvolvimento do pensamento evolutivo propriamente dito, e a maneira com que o mesmo foi sendo construído ao longo dos séculos, através de figuras históricas que integraram este desenvolvimento, como Jean-Baptiste de Lamarck, Alfred Wallace e Charles Darwin. É importante também que o desenvolvimento e consolidação da teoria evolutiva a partir do período pós-Darwin e até a atualidade seja explanado, posto que a Evolução Biológica só se estabeleceu e foi aceita como fato por toda a comunidade científica através de estudos posteriores.

Também é fundamental que os conceitos básicos necessários para a compreensão do processo da Evolução Biológica em seus níveis macro e micro sejam oferecidos. Em nosso entendimento os conceitos pertinentes à macroevolução são: filogenia, tempo geológico, cladogênese, anagênese e especiação geográfica ou alopátrica. No que se refere à microevolução, os conceitos são: seleção natural, deriva genética, fluxo gênico, mutação, recombinação gênica, genótipo e fenótipo.

Finalmente, acreditamos ser imprescindível que as diversas categorias de evidências da ocorrência da Evolução Biológica sejam colocadas e discutidas, a fim de que seu entendimento se dê através da confirmação de seus processos por meio do confronto de evidências físicas passíveis de verificação. Tais categorias de evidências, em nosso entendimento, são os caracteres homólogos, as semelhanças moleculares, as semelhanças embriológicas, a convergência evolutiva ou analogia, as estruturas vestigiais, o registro fóssil e a biogeografia.

Ao longo deste capítulo buscamos expor um panorama simplificado, porém abrangente, do desenvolvimento do conceito de Evolução Biológica, bem como de seus mecanismos e evidências nas perspectivas reconhecidas pela comunidade científica atual, de maneira a oferecer um aporte teórico à análise posterior realizada pela presente dissertação.

CAPÍTULO II: O ENSINO DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

2.1 A importância do ensino de Biologia no Ensino Médio

Krasilchik (2011) postula que a formação biológica do indivíduo colabora com sua capacidade de compreender e aprofundar as explicações, mecanismos e processos científicos de acordo com o entendimento acadêmico atualizado, bem como promove a compreensão da relevância da ciência e da tecnologia para a sociedade moderna, e também instiga seu interesse pelo mundo vivo. Assim sendo, ser cientificamente instruído pode permitir que o indivíduo seja capaz de opinar e tomar decisões de âmbito pessoal e coletivo dentro de uma perspectiva ética compromissada com os deveres da sociedade humana em relação ao planeta em que vivemos. Em consonância, Dias e Bortolozzi (2009) lembram que a educação é, ou deveria ser, o objetivo prioritário para qualquer sociedade atual, posto que a erradicação da pobreza e o estabelecimento de um desenvolvimento sustentável se constituem nos principais objetivos a serem alcançados em nosso futuro. Ainda sobre educação, os mesmos autores afirmam:

Dentro de uma sociedade, ela não se manifesta como um fim em si mesma, e sim, como um instrumento de manutenção ou transformação social, necessitando de pressupostos e conceitos que fundamentem e orientem seus caminhos (p. 3).

Assim sendo, é de vital importância que através da educação a população jovem seja munida de recursos para que possam enfrentar tais desafios, posto que o ensino formal praticado nas escolas é uma de suas principais fontes de conhecimentos científicos. Alcançar uma postura crítica que conduza a transformações sociais e que consequentemente provoque mudanças na maneira com que lidamos com nossa planeta, bem como receber condições para que tal postura avance a partir de um bom desenvolvimento cognitivo são dois dos grandes objetivos da educação formal na atualidade (DIAS e BORTOLOZZI, 2009).

A partir dessa premissa, entende-se que é ideal que a educação formal em todos os níveis norteie suas práticas a partir da importância e do significado das ciências dentro da sociedade contemporânea.

Nas últimas décadas, o ensino de ciências no Brasil atravessou diversas fases cujos objetivos educacionais se modificaram amplamente, de acordo com as transformações e

objetivos nos âmbitos político e econômico. No entanto, ao longo de todas essas fases e até o presente momento, podemos observar que o ensino de ciências dentro do Ensino Médio ainda se dá de maneira descritiva, como base na memorização do conteúdo, e frequentemente sem apresentar vínculos do mesmo com uma perspectiva histórica e tampouco com aspectos relacionados à realidade do aluno, além de apresentar uma fragmentação das diversas disciplinas dentro da Biologia, apresentadas de maneira desarticulada entre si (KRASILCHIK, 2000, 2011; CICILLINI, 1993).

De acordo com Lopes (2008), ainda que desenvolvimento das disciplinas que integram as ciências apontem para uma formação científica de contexto generalizado, durante seu processo de desenvolvimento e consolidação através do currículo o foco se dá sobre uma perspectiva mais acadêmica, abstrata e distanciada dos interesses sociais dos alunos.

Acerca dos conteúdos de Biologia para o Ensino Médio, Carvalho, Nunes-Neto e El-Hani (2011) afirmam que o excesso de conteúdos abordados de forma fragmentada conduz os estudantes a uma memorização mecânica, sem que haja a real apreensão de maneira substancial e significativa dos mesmos. A divisão do tema em suas diversas áreas de interesse, como Zoologia, Botânica, Microbiologia, Genética e afins, é compreensível do ponto de vista metodológico, porém a falta de articulação entre elas afeta substancialmente o desenvolvimento de uma percepção holística do mundo vivo. Assim sendo, não apenas a possibilidade de compreensão dos mecanismos e postulados científicos é prejudicada, mas também surge o desinteresse dos estudantes em relação às ciências biológicas, afetando a oportunidade de se realizar uma educação com foco na cidadania responsável, em consonância com a estreita relação com questões sociais e tecnológicas que a ciência tem atualmente. De fato, segundo Dias e Bortolozzi (2009), um dos elementos essenciais do processo educativo é o estímulo oferecido aos alunos em direção ao desejo pelo saber.

Carvalho, Nunes-Neto e El-Hani (2011) ressaltam ainda que, embora seja necessário readequar a quantidade de conteúdo biológico apresentado aos estudantes do Ensino Médio através do foco em conceitos estruturantes, esse processo não pode prescindir da articulação entre os mesmos e do cuidado dispensado ao rigor científico desses conteúdos, sempre dentro de uma perspectiva social atualizada.

2.2. A importância do ensino de Evolução Biológica no Ensino Médio

De acordo com o previamente explanado na introdução desta dissertação, entre os conteúdos biológicos a Evolução Biológica é considerada o conceito mais importante e unificador de todos os campos da Biologia, posto que tem em seus propósitos desvendar a origem da diversidade da vida e das características dos organismos. Atualmente entende-se que não há uma só questão dentro da Biologia que possa ser respondida plenamente sem que os aspectos evolutivos sejam considerados. Por consequência, podemos inferir que a apreensão dos elementos e processos que integram a temática da Evolução Biológica é primordial para que o ensino da Biologia possa ser desenvolvido de maneira adequada e eficiente (MAYR, 2009; FUTUYMA, 1997, 2005; MEYER e EL-HANI, 2005; DIAS e BORTOLOZZI, 2009; ZAMBERLAN e SILVA, 2010; DALAPICOLLA, SILVA e GARCIA, 2015; CICILLINI, 1993).

Em consonância, Meyer e El-Hani (2005) afirmam:

Não é apropriado tratar a Evolução como somente mais um conteúdo a ser ensinado, lado a lado com quaisquer outros conteúdos abordados nas salas de aula de Biologia, na medida em que as ideias evolutivas têm um papel central, organizador do pensamento biológico (p. 10).

Sendo assim, entendemos que o ensino da Evolução Biológica é de fundamental importância tanto para a formação biológica e científica, quanto para a formação social do indivíduo enquanto cidadão consciente, posto que se constitui não apenas como um dos grandes tópicos dentro das ciências biológicas, mas, ainda mais importante, como o conceito regulador, que permeia todas as demais áreas dentro do estudo dos seres vivos e pode ser usada como fio condutor dentro do ensino de Biologia em sua totalidade (MAYR, 2009; FUTUYMA, 1997, 2005; DIAS e BORTOLOZZI, 2009; ZAMBERLAN e SILVA, 2010).

2.3. O que dizem os documentos oficiais acerca do ensino de Evolução Biológica no Ensino Médio

2.3.1. Documentos de âmbito nacional

Em 1996 foi aprovada a mais recente Lei de Diretrizes e Bases da Educação, nº 9.394/96, que estipula a implantação nacional de um currículo comum a todos os anos do Ensino Médio e fundamental. Ao longo de seus artigos a referida Lei estabelece que a educação escolar no contexto do Ensino Médio deverá estar articulada ao mundo do trabalho e à prática social, além de estimular o pensamento crítico e a autonomia intelectual do indivíduo. Krasilchik (2000) ressalta que:

A formação básica do cidadão na escola fundamental exige o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo, a compreensão do ambiente material e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade. O Ensino Médio tem a função de consolidação dos conhecimentos e a preparação para o trabalho e a cidadania para continuar aprendendo (p. 87).

No entanto, verifica-se que a tendência descritiva e desarticulada dos conteúdos permanece (KRASILCHIK, 2000, 2011).

Ainda dentro de uma perspectiva nacional, no ano de 2000 o Ministério da Educação estabeleceu os chamados Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 2000), onde a importância da Ciência é destacada a partir da assertiva de que a mesma se constitui como uma produção humana que visa o entendimento do mundo em que vivemos. As disciplinas foram divididas em três grandes áreas de conhecimento, sendo a Biologia incorporada à área denominada “Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias”. Dentro dos conhecimentos biológicos indicados no documento, encontramos a recomendação de que o estudo da diversidade dos seres vivos se dê através de uma articulação de conteúdos por meio de um enfoque evolutivo-ecológico. Nesse aspecto, o documento afirma:

Conhecer algumas explicações sobre a diversidade das espécies, seus pressupostos, seus limites, o contexto em que foram formuladas e em que foram substituídas ou complementadas e reformuladas, permite a compreensão da dimensão histórico-filosófica da produção científica e o caráter da verdade científica. Focalizando-se a teoria sintética da evolução, é possível identificar a contribuição de diferentes campos do conhecimento para a sua elaboração, como, por exemplo, a Paleontologia, a Embriologia, a Genética e a Bioquímica. São centrais para a compreensão da teoria os conceitos de adaptação e seleção natural como mecanismos da evolução e a dimensão temporal, geológica do processo evolutivo. Para o aprendizado desses conceitos, bastante complicados, é conveniente criarem-se situações em que os alunos sejam solicitados a relacionar mecanismos de alterações no material genético, seleção natural e

adaptação, nas explicações sobre o surgimento das diferentes espécies de seres vivos (BRASIL, 2000, p. 17).

Dentro das competências e habilidades a serem desenvolvidas em Biologia, identificamos a presença de tópicos que podem remeter indiretamente à temática da Evolução Biológica, como por exemplo “Relacionar fenômenos, fatos, processos e idéias em Biologia, elaborando conceitos, identificando regularidades e diferenças, construindo generalizações”, ou “Relacionar os diversos conteúdos conceituais de Biologia (lógica interna) na compreensão de fenômenos”, e ainda “Relacionar o conhecimento das diversas disciplinas para o entendimento de fatos ou processos biológicos (lógica externa)” (BRASIL, 2000, p. 21).

De maneira a complementar e ampliar as orientações presentes nos PCNEM, em 2002 são publicados os Parâmetros Curriculares Nacionais Mais (PCN+), propondo a inserção de temas estruturadores para cada disciplina, e a articulação entre diferentes disciplinas, bem como das áreas de conhecimento distintas das quais as mesmas fazem parte (BRASIL, 2002).

Ao propor a implementação da divisão da Biologia entre temas estruturadores, o documento afirma que:

Podemos considerar que as principais áreas de interesse da Biologia contemporânea se voltam para a compreensão de como a vida (e aqui se inclui a vida humana) se organiza, estabelece interações, se reproduz e evolui desde sua origem e se transforma, não apenas em decorrência de processos naturais, mas, também, devido à intervenção humana e ao emprego de tecnologias (BRASIL, 2002, p. 41).

Assim sendo, os seis temas estruturadores da Biologia foram definidos da seguinte maneira:

1. Interação entre os seres vivos
 2. Qualidade de vida das populações humanas
 3. Identidade dos seres vivos
 4. Diversidade da vida
 5. Transmissão da vida, ética e manipulação gênica
 6. Origem e evolução da vida
- (BRASIL, 2002, p. 41).

Entre os seis temas, destacamos o último, “Origem e evolução da vida”, que remete diretamente à temática da Evolução Biológica, embora diversos aspectos da mesma possam ser utilizados em articulação com os conteúdos dos outros cinco temas propostos. De acordo com o documento, ao longo do desenvolvimento deste tema:

... os alunos têm oportunidade para perceber a transitoriedade dos conhecimentos científicos, posicionar-se em relação a questões polêmicas e dimensionar processos vitais em diferentes escalas de tempo, além de se familiarizarem com os mecanismos básicos que propiciam a evolução da vida e do ser humano em particular. Com isso, podem perceber a singularidade do processo evolutivo em que fatores culturais interagem com os biológicos, e as intervenções humanas apoiadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico alteram o curso desse processo (BRASIL, 2002, p. 50).

Para tanto, o tema é dividido entre quatro unidades temáticas, reproduzidas aqui na íntegra:

1. Hipóteses sobre a origem da vida e a vida primitiva

- Identificar diferentes explicações sobre a origem do Universo, da Terra e dos seres vivos, confrontando concepções religiosas, mitológicas e científicas, elaboradas em diferentes momentos.
- Analisar experiências e argumentos utilizados por cientistas como F. Redi (1626-1697) e L. Pasteur (1822-1895) para derrubar a teoria da geração espontânea.
- Apresentar em textos, maquetes, desenhos ou esquemas, os fenômenos relacionados com o surgimento da vida e as condições da vida primitiva.

2. Idéias evolucionistas e evolução biológica

- Comparar as idéias evolucionistas de C. Darwin (1809-1882) e J.B. Lamarck (1744-1829) apresentadas em textos científicos e históricos, identificando as semelhanças e as diferenças.
- Elaborar explicações sobre a evolução das espécies, considerando os mecanismos de mutação, recombinação gênica e seleção natural.
- Identificar alguns fatores – migrações, mutações, seleção, deriva genética – que interferem na constituição genética das populações.
- Comparar a frequência de genes de determinada população, ao longo do tempo, relacionando as alterações encontradas com o processo evolutivo.
- Traçar as grandes linhas da evolução dos seres vivos a partir da análise de árvores filogenéticas.
- Construir uma escala de tempo situando fatos relevantes da história da vida.

3. A origem do ser humano e a evolução cultural

- Construir a árvore filogenética dos hominídeos, baseando-se em dados recentes sobre os ancestrais do ser humano.
- Reconhecer o papel desempenhado pelo desenvolvimento da inteligência, da linguagem e da aprendizagem na evolução do ser humano.
- Distinguir a evolução cultural, fundada no aprendizado e na transmissão de comportamentos aprendidos, da evolução biológica que decorre de alterações nas frequências gênicas.
- Apontar benefícios e prejuízos da transformação do ambiente e da adaptação das espécies animais e vegetais aos interesses da espécie humana, considerando o que tem acontecido, nos últimos milhares de anos da história da humanidade e especulando sobre o futuro da espécie humana.

4. A evolução sob intervenção humana

- Reconhecer a seleção feita pelo ser humano, como um mecanismo de alteração das características das espécies sob intervenção.

- Avaliar o impacto da medicina, agricultura e farmacologia no aumento da expectativa de vida da população humana, na sobrevivência de genótipos com funções biológicas alteradas e no processo evolutivo da espécie.
(BRASIL, 2002, p. 50-51)

Como esperado, é inequívoco que todas unidades temáticas apresentam dedicação direta à diversos aspectos da Evolução Biológica, de maneira a abarcar boa parte dos conteúdos referentes a este conceito. No entanto, o documento também salienta que, frente à limitação de tempo, há a possibilidade de que seja inviável abordar de todos tópicos propostos, e isso posto, sugere que “o professor poderia privilegiar algumas unidades temáticas e sacrificar outras, através do tempo dedicado a cada uma delas e, portanto, da profundidade e extensão com que as trataria” (BRASIL, 2002, p. 54).

Em 2006 são publicadas as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCN-EM) (BRASIL, 2006), com o objetivo de “contribuir para o diálogo entre professor e escola sobre a prática docente” (p. 5). O documento reconhece que, a despeito da consistência e atualização das recomendações feitas pelos PCNEM e pelos PCN+, o ensino de Biologia ainda se dá através da memorização e da reprodução de regras e processos, descaracterizando assim a disciplina como Ciência. No que concerne a abordagem dos conteúdos, as Orientações confirmam a importância central da Evolução Biológica, afirmando que o ensino de seus tópicos e elementos não podem se restringir à apenas algumas aulas, mas sim permear as discussões de todos os outros temas relativos à Biologia, e que tal prática “não representa a diluição do tema evolução, mas sim a sua articulação com outros assuntos, como elemento central e unificador no estudo da Biologia” (BRASIL, 2006, p. 22).

Podemos notar que, ainda que os documentos nacionais recomendem que o ensino de Evolução Biológica se dê de maneira ampla e completa, de maneira orgânica em seus aspectos e articulado à disciplinas correlatas, diversas pesquisas (BIZZO, ALMEIDA e FALCÃO, 2007; GOEDERT, DELIZOICOV e ROSA, 2003; PAZZA, PENTEADO e KAVALCO, 2010; SILVA, SILVA e TEIXEIRA, 2011; TIDON e LEWONTIN, 2004; SILVA, ANDRADE e CALDEIRA, 2010; OLESQUES, SANTOS e BOER, 2011; SILVA, FRANZOLIN e BIZZO, 2016; CARNEIRO e ROSA, 2003) observam que essas aspirações não se concretizam de maneira geral na realidade da educação em nosso país.

2.3.2. Documentos emitidos pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

Em um âmbito estadual dispomos de documentos oficiais relativos à educação no Estado de São Paulo, sendo eles a Proposta Curricular do Estado de São Paulo, publicada em 2008, e o Currículo do Estado de São Paulo, publicado em 2012.

A Proposta Curricular se coloca como ferramenta de apoio ao trabalho das escolas estaduais, visando a melhoria dos processos de aprendizagem dos alunos do Estado através de uma base comum de conteúdos, competências e habilidades. Tal documento, quando discorre acerca do ao ensino de Biologia para o Ensino Médio, reconhece, assim como as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, que o ensino de Biologia frequentemente se dá através de descrições e memorizações de seus fatos e fenômenos, afastando assim o interesse dos alunos, posto que essa abordagem carece de sentido relacionado ao cotidiano dos mesmos. Em consonância com os documentos nacionais, a Proposta coloca “A Origem e evolução da vida” como um de seus sete temas de estudo, a ser abordado no 3º e 4º bimestre da 3ª série do Ensino Médio (SÃO PAULO, 2008).

O quadro 1 detalha os subtemas e os conteúdos gerais e específicos propostos para este tema de estudo:

QUADRO 1: Conteúdos referentes o tema “Origem e evolução da vida”.

3ª SÉRIE		
TEMA 7: Origem e evolução da vida		
Subtemas	Conteúdos gerais	Conteúdos específicos
3º Bimestre A origem da vida e idéias evolucionistas	A origem da vida	• Hipóteses sobre a origem da vida • Vida primitiva
	Idéias evolucionistas e evolução biológica	• As idéias evolucionistas de Darwin e Lamarck • Mecanismos da evolução das espécies: mutação, recombinação gênica e seleção natural • Fatores que interferem na constituição genética das populações: migrações,

		mutações, seleção e deriva genética • Grandes linhas da evolução dos seres vivos: árvores filogenéticas
4º Bimestre Evolução biológica e cultural	A origem do ser humano e a evolução cultural	• A árvore filogenética dos hominídeos • Evolução do ser humano: desenvolvimento da inteligência, da linguagem e da capacidade de aprendizagem • Impactos da transformação do ambiente e da adaptação das espécies animais e vegetais aos interesses da espécie humana • O futuro da espécie humana
	Intervenção humana na evolução	• Processos de seleção animal e vegetal • Impactos da medicina, agricultura e farmacologia no aumento da expectativa de vida

Fonte: São Paulo, 2008, p. 55.

A Proposta, posteriormente chamada de Currículo Oficial, também trouxe a primeira edição dos cadernos do Professor (CP), documentos que visavam orientar o trabalho dos professores através da aplicação de situações de aprendizagem, onde os conteúdos, habilidades e competências foram organizados por disciplina, série e bimestres e pretendiam nortear o trabalho em sala de aula através de sugestões diversas.

Em 2012, finalmente temos a publicação do Currículo do Estado de São Paulo, construído a partir do levantamento dos acervos documentais e técnicos pedagógicos existentes, bem como de consultas à escolas e professores com o intuito de “identificar, sistematizar e divulgar boas práticas existentes nas escolas de São Paulo” (SÃO PAULO, 2012, p. 7). Contudo, é importante ressaltar que a afirmação de que docentes e demais profissionais que efetivamente trabalham dentro do contexto de sala de aula participaram da elaboração do material a partir de suas vivências no dia a dia escolar pode não corresponder à realidade (ALMEIDA, BRANCALLEÃO e BONZANINI, 2014; ALMEIDA e BONZANINI, 2014).

Aspirando uma maior integração das escolas do Estado, de modo que uma verdadeira rede fosse desenvolvida, buscou-se através destes documentos a construção de uma base comum de conhecimentos e competências, a fim de preparar os alunos para enfrentar desafios sociais, culturais e profissionais do mundo atual (SÃO PAULO, 2012).

Fazem parte destes documentos os Cadernos do Professor (CP) e Cadernos do Aluno (CA), organizados por disciplina, série e bimestres e oferecidos à todas as unidades escolares da Rede. Neles, as situações de aprendizagem introduzidas anteriormente pela Proposta são novamente utilizadas de modo a orientar o trabalho do professor, bem como contribuir para o aprendizado dos alunos (SÃO PAULO, 2012).

As situações de aprendizagem pretendem não apenas se restringir à transmissão do conteúdo, mas sim “instigar a investigação científica, a participação social, a reflexão e a atuação dos estudantes na resolução de situações-problema contextualizadas” (SÃO PAULO, 2014l, p. 7).

O Currículo também chama a atenção para a realidade da exclusão social causada pela falta de acesso ao conhecimento, em um mundo onde características cognitivas e capacidade de reagir de maneira adequada frente à situações diversas de são cada vez mais valorizadas. Essa preocupação corrobora as afirmações de Krasilchik (2000, 2011), citadas previamente nesta dissertação, de que uma educação científica é de vital importância para a formação de indivíduos de maneira que os mesmos alcancem plena capacidade de compreender o mundo a sua volta e agir como cidadãos conscientes e responsáveis. Assim sendo, o documento afirma que devemos nos voltar para tanto para a universalização quanto para a qualidade da educação oferecida, de modo que ela tenha um caráter inclusivo e proporcione o contato com uma soma dos saberes produzidos pela humanidade ao longo de sua história.

No que tange o ensino de Biologia, há no documento o segmento dedicado ao Currículo da disciplina, onde um breve histórico do ensino de Biologia nas últimas décadas constata que já na década de 1980 a Secretaria de Educação do Estado de São Paulo sugeria em sua proposta curricular que um dos princípios teóricos-metodológicos fosse “a evolução como linha unificadora dos conteúdos”, preceito esse que foi ratificado em todos os subsequentes documentos nacionais e estaduais que abordaram o ensino de Biologia (SÃO PAULO, 2012, p.

69). Na sequência o texto novamente destaca a necessidade de compreensão de preceitos científicos com o objetivo de formar cidadãos capazes de opinar e decidir acerca de temas pessoais e coletivos. Notamos que, embora haja uma notável persistência neste ponto em diversas pesquisas, bem como nos documentos oficiais relativos à educação, a constante repetição pode ser um indício de que este objetivo não está sendo atingido de maneira satisfatória.

Sobre o ensino de Biologia no Ensino Médio, o mesmo documento chama a atenção para o caráter descritivo comum ao ensino desta disciplina, novamente em consonância com as afirmações de Krasilchik (2000; 2011), e repete a afirmação de que tal fato pode terminar por minar o interesse do aluno, tendo em vista que não articula os conhecimentos científicos com seus interesses pessoais e com fenômenos da vida cotidiana. Assim sendo, o texto afirma que a quebra desse padrão é um desafio pertencente à escola e aos professores, e recomenda que isso seja feito através da utilização dos conteúdos presentes nas situações de aprendizagem propostas nos Cadernos do Professor (CP) e Cadernos do Aluno (CA).

O Currículo então propõe que o ensino de Biologia para o ensino médio seja pautado pelos seguintes conceitos fundamentais ao longo de suas três séries (São Paulo, 2012, p. 72):

- Unidade e diversidade
- Interação dos seres vivos com o meio ambiente
- Complementaridade entre estrutura e função
- Continuidade da vida
- Mudanças ao longo do tempo

A temática da Evolução Biológica se faz presente com clareza no último tópico, embora conteúdos pertinentes a todos os outros tópicos também possam ser trabalhados dentro dessa perspectiva, posto que, como citado anteriormente a Evolução Biológica permeia os mais diversos campos de estudo da Biologia. Podemos inferir, por exemplo, que a perspectiva evolutiva possa ser utilizada nos tópicos ‘Unidade e diversidade’, posto que o principal objetivo dos estudos evolutivos é compreender e explicar a diversidade de seres vivos presentes em nosso

planeta, e ‘Interação dos seres vivos com o meio ambiente’, posto que a seleção natural é um dos principais mecanismos evolutivos e se dá de acordo com as modificações de uma população ao longo do tempo, causadas em parte por pressões seletivas do meio em que vivem (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

O documento recomenda também que a compreensão destes conceitos fundamentais se dê através da divisão dos mesmos em sete temas de estudo a serem distribuídos de acordo com a série e bimestre. São eles (p. 72-75):

- A interdependência da vida
- Qualidade de vida das populações humanas
- Identidade dos seres vivos
- Transmissão da vida e mecanismos da variabilidade genética
- A receita da vida e o seu código: tecnologias de manipulação do DNA
- Diversidade da vida
- Origem e evolução da vida

Temos novamente o tema ‘Origem e evolução da vida’, indicado a ser trabalhado no segundo semestre (3º e 4º bimestres) da 3ª série, ou seja, nos momentos finais do Ensino Médio.

Os quadros 2 e 3 a seguir detalham os conteúdos e habilidades propostos para os referidos bimestres de acordo com o material (CP e CA):

QUADRO 2: Conteúdos e habilidades indicados para o 3º bimestre.

3ª série do Ensino Médio	
3º Bimestre	Conteúdos
	Origem e evolução da vida – Hipóteses e teorias A origem da vida ● Hipóteses sobre a origem da vida ● Vida primitiva Ideias evolucionistas e evolução biológica ● As ideias evolucionistas de Darwin e de Lamarck ● Mecanismos da evolução das espécies – mutação, recombinação gênica

	e seleção natural • Fatores que interferem na constituição genética das populações – migração, seleção e deriva genética • Grandes linhas da evolução dos seres vivos – árvores filogenéticas
	Habilidades
	• Interpretar concepções religiosas e científicas para a origem da vida e dos seres vivos • Identificar e caracterizar as evidências da evolução biológica • Identificar os mecanismos geradores (mutação e recombinação) e os fatores orientadores (seleção natural) da grande variabilidade dos seres vivos • Identificar o papel dos isolamentos geográfico e reprodutivo na formação de novas espécies • Reconhecer as principais etapas da evolução dos grandes grupos de organismos • Identificar evidências do processo de evolução biológica (fósseis, órgãos análogos, homólogos e vestigiais) • Interpretar a história da vida na Terra com base em escala temporal, indicando os principais eventos (surgimento da vida, das plantas, do homem etc.) • Identificar as ideias evolucionistas de Darwin e de Lamarck com base na leitura de textos históricos • Inferir que o resultado da seleção natural é a preservação e a transmissão para os descendentes das variações orgânicas favoráveis à sobrevivência da espécie no ambiente • Analisar as ideias sobre a origem da vida a partir da leitura de textos históricos • Estabelecer a relação entre as condições da Terra primitiva e a origem dos primeiros seres vivos • Identificar por comparação as conquistas evolutivas de um grupo de seres vivos em relação a outros • Interpretar árvores filogenéticas e determinar, nesse tipo de representação, as relações de parentesco entre os seres vivos

FONTE: São Paulo, 2012, p. 92-93

QUADRO 3: Conteúdos e habilidades indicados para o 4º bimestre.

3ª série do Ensino Médio	
4º Bimestre	Conteúdos
	Origem e evolução da vida – Evolução biológica e cultural

	A origem do ser humano e a evolução cultural • A árvore filogenética dos hominídeos • Evolução do ser humano – desenvolvimento da inteligência, da linguagem e da capacidade de aprendizagem • A transformação do ambiente pelo ser humano e a adaptação de espécies animais e vegetais a seus interesses • O futuro da espécie humana Intervenção humana na evolução • Processos de seleção animal e vegetal • Impactos da medicina, agricultura e farmacologia no aumento da expectativa de vida
	Habilidades
	• Ler e interpretar imagens relativas à evolução dos hominídeos • Identificar e explicar aspectos da interação entre os mecanismos biológicos e culturais na evolução humana • Identificar as principais etapas da evolução humana com base em textos ou na análise de árvores filogenéticas • Estabelecer relações de parentesco em árvores filogenéticas de hominídeos • Analisar criticamente a relação homem–meio, em situações concretas, reconhecendo a espécie humana como parte integrante de um processo no qual ela modifica e é modificada pelo ambiente em que vive • Reconhecer os impactos da intervenção humana na evolução, nos campos da medicina, da agricultura e da farmacologia, e a relação com o aumento da esperança de vida • Interpretar o processo evolutivo humano como resultado da interação entre mecanismos biológicos e culturais • Avaliar as implicações evolutivas dos processos de seleção artificial de espécies animais e vegetais • Avaliar os impactos da transformação e adaptação do ambiente aos interesses da espécie humana

FONTE: São Paulo, 2012, p. 94-95.

Em uma análise preliminar podemos notar a presença de pontos chave do processo evolutivo. Nos conteúdos listados para o 3º bimestre, por exemplo, encontramos a menção aos processos de seleção natural, recombinação genética e mutação. Conceitos que interferem na constituição das populações, como migrações e isolamento geográfico e reprodutivo também estão presentes, além das diversas categorias de evidências evolutivas. Cabe ressaltar aqui o

tópico ‘As ideias evolucionistas de Darwin e de Lamarck’, uma indicação de que o processo histórico do desenvolvimento do pensamento evolutivo deve ser abordado (FUTUYMA, 1997, 2005; MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

Já nos conteúdos propostos para o 4º bimestre, podemos destacar o tópico ‘A árvore filogenética dos homínídeos’, onde a ancestralidade comum de todos os seres vivos poderia ser trabalhada (MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

O Currículo indica ainda que dentro do tema ‘Origem e evolução da vida’ os alunos “têm a oportunidade de perceber a transitoriedade dos conhecimentos científicos” (p. 75), o que sugere mais uma vez a necessidade de se considerar os contextos históricos que permeiam a produção científica ao longo do tempo (SÃO PAULO, 2012).

A partir da análise de diversos documentos relativos ao ensino de Biologia, tanto em âmbito nacional quanto à nível estadual, podemos observar repetidamente a citação do tema “Origem e evolução da vida” como conteúdo fundamental a ser abordado ao longo do Ensino Médio, e portanto seria natural inferir que a temática tem sido extensamente trabalhada de maneira associada a outras áreas do conhecimento biológico, como é reforçado a cada documento publicado.

Não obstante, podemos facilmente encontrar pesquisas que revelam que tanto alunos - de Ensino Médio e ensino superior (BIZZO, ALMEIDA e FALCÃO, 2007; GOEDERT, DELIZOICOV e ROSA, 2003; PAZZA, PENTEADO e KAVALCO, 2010; SILVA, SILVA e TEIXEIRA, 2007) quanto professores de Biologia apresentam dificuldades de compreensão acerca de elementos básicos do tema (TIDON e LEWONTIN, 2004; SILVA, ANDRADE e CALDEIRA, 2010; OLESQUES, SANTOS e BOER, 2011; SILVA, FRANZOLIN e BIZZO, 2016; CARNEIRO e ROSA, 2003). Em consonância, Krasilchik [20--] afirma que, embora documentos oficiais proponham transformações significativas dentro do ensino em nosso país, é incerto que essas transformações de fato se concretizem.

Neste momento também é importante considerar que a escolha pela inclusão da Evolução Biológica somente no último semestre do Ensino Médio parece contrapor as orientações no

sentido de que a mesma seja trabalhada de maneira a articular as diferentes áreas de estudo biológico.

2.4. O livro didático no ensino de Ciências

A importância do livro didático dentro do ensino de Biologia, ou, de maneira mais abrangente, das Ciências em geral, é amplamente reconhecida dentro da comunidade acadêmica. Tal ferramenta pode ser considerada a fonte principal de conteúdo utilizada pelos professores, ou até mesmo a única, dentro da perspectiva do Ensino Médio de caráter público (DIAS e BORTOLOZZI, 2009; KAWASAKI e EL-HANI, 2002; VASCONCELOS e SOUTO, 2003; ZAMBERLAN e SILVA, 2010; FRISON et al., 2009).

São muitas as investigações acadêmicas acerca da qualidade dos livros didáticos de Biologia, tanto no contexto do ensino fundamental (MEGID NETO e FRACALANZA, 2003; VASCONCELOS e SOUTO, 2003; SIGANSKI, FRISON e BOFF, 2008) quanto especificamente relativas ao Ensino Médio (EL-HANI, ROQUE e ROCHA, 2011; KAWASAKI e EL-HANI, 2002; RODRIGUES e OLIVEIRA, 2015), como por exemplo, a análise dos conteúdos referentes à genética feita por Franzolin e Bizzo (2013) a fim de comparar conceitos básicos da área com o conhecimento acadêmico atualizado. Dentro de uma perspectiva estadual, Bonzanini e Almeida (2014) analisaram o conteúdo de genética presente no Caderno do Aluno da 2ª série oferecido às escolas da Rede do Estado de São Paulo.

A preocupação no tocante aos conteúdos referentes à Evolução Biológica no material didático não se limita à exatidão dos mesmos em relação aos saberes científicos atualizados, mas também à forma com que tais conteúdos são transmitidos pelo processo chamado de transposição didática, processo pelo qual o saber científico, acadêmico, é transformado em saber ensinado (CHEVALLARD, 1997). A partir disso, entende-se que a análise do rigor científico acerca dos conceitos relativos à Evolução Biológica não pode prescindir da observação a respeito da forma com que tais conceitos são abordados.

Bellini (2006) confirma tal imprescindibilidade ao afirmar que a transposição dos conteúdos de ciências para o material didático frequentemente apresenta erros conceituais,

interpretações incorretas ou incompletas de conhecimentos científicos, reducionismos, distorções e concepções que fogem ao escopo das ciências, além do uso de vocabulário inadequado. Em relação aos conteúdos pertinentes à Evolução Biológica, é comum que a abordagem seja feita de maneira antropocêntrica e finalista, por exemplo, e que os postulados de Lamarck e Darwin sejam apresentados como as duas únicas teorias que se propuseram a explicar a diversidade dos seres vivos, sendo opostas e não apresentando semelhanças entre si. É também comum que a história do pensamento evolutivo seja apresentada de maneira incompleta, com citações apenas, como dito anteriormente, a Lamarck e Darwin, bem como ao mendelismo e neolamarckismo, descontextualizando assim o processo intrincado através do qual o pensamento evolutivo foi construído.

Para Dias e Bortolozzi (2009):

Como regra geral, os autores dos livros didáticos cobrem a evidência científica a favor da teoria darwinista sem nenhuma crítica, sem sequer identificar suas fraquezas científicas fundamentais discutidas, atualmente, por tratadistas do assunto. Não se deve esperar que qualquer material didático possa proporcionar um curso completo ou atender às exigências de todas as crianças, cabendo também ao professor completar essas deficiências. A assimilação de conceitos equivocados é capaz de fazer com que o aluno repita esses erros no decurso da vida, comprometendo até sua futura atuação profissional (p. 5).

Ora, é possível que estudantes do Ensino Médio que se apropriaram de conceitos incorretos ou incompletos induzidos pelas deficiências no material didático, no futuro, se tornem professores da área de ciências. Caso tais equívocos não tenham sido desfeitos ao longo de sua experiência no ensino superior pode haver o risco importante de que continuem sendo propagados, posto que novamente o material didático com erros conceituais e interpretações incorretas ou incompletas não seria capaz de provocar um processo de esclarecimento e anulação de tais erros.

Assim sendo, entende-se que um dos grandes obstáculos ao ensino da Evolução Biológica é a falta de preparo dos professores educadores para desenvolver o conceito em sala de aula, como afirmam Tidon e Lewontin (2004), portanto um material didático de qualidade, a saber, em que não apenas os conceitos relativos à temática estejam alinhados com o conhecimento científico mas também sejam expostos de maneira a traduzir os mesmos em uma

linguagem compreensível aos estudantes, ou seja, através de aproximações e distanciamentos adequados, é indispensável para que a apreensão adequada de tais conceitos possa ocorrer.

2.4.1. Algumas pesquisas acerca da Evolução Biológica nos livros didáticos

Como estabelecido anteriormente por esta dissertação, a Evolução Biológica possui papel central dentro do ensino de Biologia, sendo então fundamental que o material didático através do qual se dá o ensino seja cuidadosamente desenvolvido e acompanhado. Consideramos que a avaliação dos conceitos científicos presentes no material didático oferecido ao estudantes do Ensino Médio é de vital importância para que possamos entender como o ensino de Evolução se dá no contexto atual, bem como a análise acerca da maneira com que a transposição didática desses paradigmas científicos tem sido feita no contexto de sala de aula.

Pesquisas recentes (DALAPICOLLA, SILVA e GARCIA, 2015; DIAS e BORTOLOZZI, 2009) se empenharam a analisar conceitos pertinentes ao tema, a fim de avaliar a presença ou precisão dos mesmos. Destacamos o trabalho de Kawasaki e El-Hani (2002), que analisou as definições de vida em livros didáticos usados no Ensino Médio, e o trabalho de Rocha et al. (2007) que analisou problemas conceituais acerca de Evolução Biológica e diversidade em livros brasileiros oferecidos ao Ensino Médio. Outros exemplos são: Zamberlan e Silva (2010) analisaram o conceito de competição evolutiva presente em livros didáticos usados no Ensino Médio, e Bellini (2006) averiguou o uso de metáforas empregadas no ensino de conceitos introdutórios ao pensamento evolucionista. Em análise sobre a concepção de Evolução apresentada por livros didáticos no ano de 1991, Cicillini observou que em geral tais livros seguem a mesma sequência didática de conteúdos, com apenas pequenas variações entre eles. Os conteúdos referentes à Evolução Biológica via de regra são desenvolvidos apenas ao final do Ensino Médio, sem que seus conceitos permeiem o estudo de outros tópicos da Biologia.

O Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciência (ENPEC) é um evento brasileiro que acontece a cada dois anos, realizado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC). Através do site do evento (<http://abrapecnet.org.br/wordpress/pt/enpecs-antiores>), buscamos trabalhos que analisavam a

presença dos conteúdos de Evolução Biológica em livros didáticos nas últimas quatro edições, realizadas nos anos de 2015, 2013, 2011 e 2009.

Ao analisarmos os Anais do X ENPEC, realizado em 2015, em busca de trabalhos acerca Evolução Biológica, encontramos apenas um trabalho cuja temática se relaciona com conteúdos pertinentes ao tema em livros didáticos, intitulado “Justificativas para a inserção de conteúdos de Evolução em livros didáticos de Biologia” (MEDRADO e SELLES, 2015), dentro de quinze acerca do tema em geral.

Nos Anais do IX ENPEC, realizado em 2013, encontramos cinco trabalhos relacionados ao ensino de Evolução Biológica, e novamente apenas um deles, intitulado “Análise da abordagem do conteúdo de Evolução humana sob aspectos biológico, social e cultural em três coleções de livros didáticos de Ciências do ensino fundamental” (PIN et al., 2013) se relaciona ao conteúdo de livros didáticos, porém apenas relativos ao ensino fundamental.

Já nos Anais do VIII ENPEC, realizado em 2011, foram encontrados 26 trabalhos acerca do ensino de Evolução Biológica, e quatro deles discorriam acerca do tema no âmbito dos livros didáticos, sendo eles: “Análise crítica sobre a visão idealista no conteúdo de evolução em livros didáticos” (ENRIONE et al., 2011), “O uso da evolução como eixo integrador da Biologia em livros didáticos do Ensino Médio” (DALAPICOLLA, SILVA e GARCIA, 2011), “A evolução nos livros didáticos do ensino fundamental aprovados pelo MEC: uma reflexão a partir da análise de duas coleções” (AZEVEDO e MOTOKANE, 2011) e “A Evolução Biológica no Ensino Médio: análise de uma coleção didática a partir dos estudos sobre a organização do trabalho didático” (MIANUTTI e BASTOS, 2011).

Nos Anais do VII ENPEC, realizado em 2009, apenas um entre os dezesseis trabalhos acerca do ensino de Evolução tratavam do tema inserido em livros didáticos, de autoria de Dias e Bortolozzi (2009): “Como a Evolução Biológica é tratada nos livros didáticos do Ensino Médio”. Em um trabalho apresentado no mesmo evento, Castro e Augusto (2009) analisaram os Anais do VI ENPEC, realizado em 2007, em busca de artigos relacionados ao ensino de Evolução Biológica. A busca mostrou que o foco da maioria dos trabalhos, de um total de quinze, se dava em relação à percepção de alunos em relação ao tema, e nenhum trabalho acerca da análise de conteúdos evolutivos em livros didáticos foi encontrado.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3.1. Tipo de pesquisa

A presente dissertação adota um enfoque de pesquisa de caráter qualitativo e documental (LUDKE e ANDRÉ, 1986), posto que pretende avaliar o conteúdo de um material didático, que se configura como documento, e relacioná-lo ao conhecimento atualizado da área científica em questão, considerando a forma com que tais conteúdos são transpostos. Para tanto, foi utilizada como parâmetro a análise de conteúdo de Bardin (1977) a fim de que se pudesse classificar e inferir significados ao conteúdo encontrado no momento de exploração do material. Durante a análise dos conteúdos também foi considerado o processo de transposição didática descrito por Chevallard (1991) e explanado por Carvalho (2009), buscando determinar o quão aproximados ou distanciados os conteúdos destacados estão em relação ao conhecimento científico atual.

De acordo com Ludke e André (1986), “a análise documental pode se constituir em uma técnica valiosa de abordagem de dados qualitativos” (p. 38). Os mesmos autores postulam:

Para se realizar uma pesquisa é preciso promover o confronto entre os dados, as evidências, as informações coletadas sobre determinado assunto e o conhecimento teórico acumulado a respeito dele. Em geral isso se faz a partir do estudo de um problema, que ao mesmo tempo desperta o interesse do pesquisador e limita sua atividade de pesquisa a uma determinada porção do saber, a qual ele se compromete a construir naquele momento (LUDKE e ANDRÉ, 1986, p. 1-2).

Ainda segundo Ludke e André (1986), uma abordagem qualitativa exige a delimitação do objeto de estudo e do foco a ser tomado pela investigação, a partir da formulação de questões específicas que proporcionem uma melhor sistematização do processo. Em consonância, Bardin (1977) recomenda que a análise de um conteúdo atravessasse três fases, sendo elas a pré-análise, onde os documentos são definidos e organizados, formula-se as hipóteses e objetivos e elaboram-se as categorias que teorizem e fundamentem a interpretação final; a exploração e as inferências derivadas a partir dos indicadores definidos na fase anterior; e as interpretações que compõem o resultado final.

De acordo com Bardin (1977), a análise do conteúdo não apenas caracteriza os conteúdos, mas sim pretende desvendar as informações e significados presentes na mensagem, através de um conjunto de técnicas de vasta atuação, por intermédio de procedimentos de descrição sistemáticos e objetivos. Em concordância, Franco (2008) afirma que a análise de conteúdo “permite ao pesquisador fazer inferências sobre qualquer um dos elementos da comunicação” (p. 23), ou seja, suas causas e efeitos. A inferência, por sua vez, pode ser descrita como “um procedimento intermediário que vai permitir a passagem, explícita e controlada, da descrição à interpretação” (p. 29). Dessa forma, a inferência possibilita a comparação e a relação com a teoria, posto que os dados obtidos podem então ser confrontados com os dados fornecidos pela literatura de referência. Em relação às categorias, Bardin (1977) as define como unidades de análise, posto que tais unidades devem representar conjuntos de informações com significado fechado em si mesmas. A autora postula ainda que tais categorias devem ser pertinentes, inclusivas e objetivas aos objetivos da pesquisa. Ainda que parte do significado se perca no momento em que os conteúdos são transformados em palavras-chave, isso é recuperado mais tarde na interpretação dos dados à partir da perspectiva da pesquisadora.

No que se refere à forma com que tais conteúdos são transmitidos, temos o processo chamado de transposição didática, conceito este que foi empregado inicialmente pelo sociólogo francês Michel Verret, e posteriormente expandido por Yves Chevallard (CHEVALLARD, 1997).

Conforme a abordagem de Chevallard (1997), a transposição didática pode ser entendida de maneira sucinta como “a passagem do saber sábio ao saber ensinado” (p. 5), ou seja:

“Um conteúdo de saber que tenha sido definido como saber a ensinar, sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O ‘trabalho’ que faz de um objeto de saber a ensinar, um objeto de ensino, é chamado de transposição didática” (CHEVALLARD, 1997, p. 45).

Portanto, o conhecimento científico produzido academicamente seria adaptado à uma forma de conhecimento a ser ensinado na escola através do processo de transposição didática. Tal passagem ocorre em duas fases. A transposição didática externa (TDE) ocorre entre o chamado objeto do saber, ou seja, o saber científico, e o saber a ensinar, através da escolha e definição dos conteúdos que constituirão os currículos e programas escolares. Já a transposição

didática interna (TDI) se refere ao processo traçado entre o saber a ensinar e o saber ensinado em sala de aula, ou seja, a maneira com que os conteúdos escolhidos na TDE são transpostos no processo de ensino-aprendizagem (CHEVALLARD, 1997; DEVELAY, 1992 apud CARVALHO, 2009). Portanto, o conteúdo oferecido através material didático, foco da análise da presente dissertação, se situa como ferramenta pertinente a transposição didática externa, posto que se propõe a oferecer aos estudantes acesso ao conhecimento científico através de um processo onde tal conhecimento, após ser selecionado, é adaptado ao Ensino Médio.

Conforme Franzolin e Bizzo (2013), o saber a ser ensinado é suscetível a dois tipos de influências, díspares porém complementares, sendo ambas essenciais ao processo da transposição didática. Na primeira delas, chamada pelos autores de *distanciamento*, o saber a ser ensinado se apresenta distanciado em relação ao saber científico, buscando facilitar a compreensão do estudante quanto ao conhecimento científico reconhecido academicamente. A ausência de tal processo poderia tornar determinados conteúdos inacessíveis aos estudantes. O segundo tipo de influência é chamada de *aproximação*, e objetiva manter uma correspondência estreita entre o saber a ser ensinado e os saberes científicos, a fim de que o comprometimento com os mesmos seja mantido, sendo então a ausência deste processo prejudicial ao ensino de natureza científica. Assim sendo, é imprescindível que os saberes científicos sejam reformulados e adaptados ao contexto educacional mas também é imprescindível que um certo grau de exatidão de tais saberes seja observado.

A partir disto, a presente dissertação se propôs a examinar a precisão científica dos conteúdos relacionados à Evolução Biológica apresentados no material objeto de análise, dedicando especial atenção às aproximações e distanciamentos gerados pelo processo da transposição didática. As flexões conceituais ou distanciamentos poderiam, em alguns casos, ser classificadas como erros conceituais, e tal possibilidade foi considerada.

Segundo Bizzo (2009), para que um distanciamento seja considerado erro conceitual o mesmo deve apresentar conjuntamente as seguintes características:

- estar baseado em premissas que não são aceitas pela comunidade científica;
- constituir uma forma de conceber e explicar relações (modelo mental);
- estar fundamentado em conhecimentos adaptativos no contexto escolar;
- demonstrar-se falso e não adaptativo em situações da vida real.

(BIZZO, 2009, p. 45)

Ainda de acordo com Bizzo (2009), como citado por Franzolin e Bizzo (2013):

Não apresentando todas essas características, os distanciamentos (...) encontrados não podem ser considerados erros conceituais. [...] Em geral, esses distanciamentos não trazem prejuízos a vida real do aluno, e/ou podem ter sido gerados por pequenos descuidos ou má elaboração dos textos, distorcendo as ideias que se pretendiam expressar. Isso pode ser evidenciado quando os demais conhecimentos relacionados presentes no texto não compartilham essa informação, apresentando uma outra estrutura de pensamento (FRANZOLIN e BIZZO, 2013, P. 5-6).

De qualquer modo, se constituindo ou não em erros conceituais, os distanciamentos devem ser observados com atenção posto que podem constituir obstáculos consideráveis para o aprendizado do conteúdo pretendido, sendo ele, no caso da presente dissertação, os elementos básicos dentro do conceito da Evolução Biológica.

A fim de que os conceitos pertinentes ao processo evolutivo localizados no material pudessem ser adequadamente analisados, a confrontação dos mesmos com o conhecimento científico foi feito através de uma literatura de referência. Literatura de referência, segundo Franzolin e Bizzo (2007), é aquela objeto de estudo do professor em formação. Assim sendo, o referencial teórico escolhido teve como base a bibliografia adotada pela disciplina de Evolução oferecida aos graduandos de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu. Além disso, outras obras foram consideradas de maneira que a referência científica pudesse se apresentar de maneira completa e redundante.

3.2. Material a ser analisado

Inicialmente foram escolhidos como objeto de pesquisa os seguintes documentos:

- Cadernos do Professor (CP): 1ª série, volume 1 (SÃO PAULO, 2014g); 1ª série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014h); 2ª série, volume 1 (SÃO PAULO, 2014i); 2ª série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014j); 3ª série, volume 1 (SÃO PAULO, 2014k); e 3ª série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014l).
- Cadernos do Aluno (CA): 1ª série, volume 1 (SÃO PAULO, 2014a); 1ª série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014b); 2ª série, volume 1 (SÃO PAULO, 2014c); 2ª

série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014d); 3ª série, volume 1 (SÃO PAULO, 2014e); e 3ª série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014f).

Os doze volumes são oferecidos a todas as escolas da rede estadual de ensino do Estado de São Paulo.

3.3. Procedimentos de análise

A análise do material foi feita seguindo as seguintes etapas, adaptadas a partir das sugestões de Bardin (1977) em favor da fluidez da análise:

- Localização e exploração do material: os doze volumes foram superficialmente observados e a partir disso selecionou-se apenas aqueles cujo conteúdo se relacionava com diretamente com o conceito da Evolução Biológica. Neste momento também foram definidas as categorias a serem utilizadas na análise.
- Categorização, descrição e interpretação: o material foi analisado de modo que seu conteúdo pudesse ser classificado de acordo com as categorias definidas na fase anterior. Em seguida, os dados foram descritos e interpretados de maneira a confrontá-los com o referencial teórico, considerando também a forma com que tais conceitos são apresentados.

CAPÍTULO IV: ANÁLISE E RESULTADOS

4.1. Localização e exploração do material

Durante a fase de pré-análise (BARDIN, 1977), os quadros de conteúdos e habilidades referentes a cada série e bimestres presentes no Currículo do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2012, p. 76-95) foram utilizados como referência para a localização dos conteúdos correspondentes à temática definida previamente, a fim de selecionar quais volumes apresentavam material pertinente à análise.

Nesta etapa também foi constatado que os Cadernos do Aluno apresentam conteúdo análogo aos Cadernos do Professor, sendo que nestes há o acréscimo de indicações e sugestões didático-pedagógicas ao longo das situações de aprendizagem, incluindo respostas sugeridas para os questionamentos colocados. Assim sendo, decidiu-se pela exclusão dos Cadernos do Aluno, a fim de se evitar redundâncias na investigação.

Dentre os Cadernos do Professor, apenas o referente ao 2º semestre da 3ª série (SÃO PAULO, 2014I) trata diretamente da temática em questão, posto que o Tema geral do Volume 2 é denominado ‘Origem e Evolução da vida’, como colocado anteriormente nos quadros do Currículo (SÃO PAULO, 2012, p. 92-95). Tal volume apresentou vasta coleção de referências ao tema, e assim sendo, optou-se pela análise apenas do referido Caderno do Professor, a fim de que o foco temático fosse mantido.

Os indicadores a serem usados como categorias de busca e análise foram definidos a partir do agrupamento de tópicos chave dentro da Evolução Biológica. As categorias foram definidas não apenas a partir da exploração inicial do material, mas também baseadas na literatura de referência utilizada na fundamentação teórica da presente dissertação, bem como nas indicações acerca do ensino da Evolução Biológica encontradas nos documentos oficiais nacionais e pertinentes ao Estado de São Paulo (BRASIL, 2000, 2002, 2006; SÃO PAULO, 2008, 2012). Guiou-se também pela investigação apresentada por Dias e Bortolozzi (2009), onde, com base nas determinações retiradas dos PCN (BRASIL, 2000), foram definidos pontos teóricos acerca da temática evolutiva considerados de fundamental importância para o ensino do

tema. Assim sendo, as categorias de análise foram definidas de acordo com os propósitos desta dissertação, de acordo com o julgamento da autora a partir da literatura científica utilizada como base teórica.

São elas:

- Referências históricas (RH)

Citações acerca do histórico do desenvolvimento do pensamento evolutivo, incluindo concepções prévias a respeito da diversidade de seres vivos, como o fixismo e o essencialismo, menções à naturalistas cujo trabalho sintetizou e consolidou o pensamento evolutivo, como Lamarck, Wallace e Darwin, bem como o desenvolvimento dos trabalhos dos mesmos, o posterior desenvolvimento e consolidação da teoria sintética da Evolução e também debates atuais. O objeto do estudo da Evolução Biológica, ou seja, a diversidade dos seres vivos, assim como a não-linearidade do processo de produção científico e a contextualização histórica necessária para a compreensão do histórico de seu desenvolvimento também se situam nesta categoria.

- Conceitos fundamentais da Evolução Biológica (CF)

Para que o processo evolutivo e seus mecanismos sejam compreendidos de maneira eficaz é necessária a apreensão de alguns conceitos que, em conjunto, sintetizam o modo com que o mesmo acontece. Tais conceitos são elementares para uma compreensão do processo da Evolução Biológica em seus níveis macro e micro. Em nosso entendimento os conceitos pertinentes à macroevolução são: filogenia, tempo geológico, cladogênese, anagênese e especiação geográfica ou alopátrica. No que se refere à microevolução, os conceitos são: seleção natural, deriva genética, fluxo gênico, mutação, recombinação gênica, genótipo e fenótipo.

- Evidências do processo evolutivo (Ev)

Atualmente a percepção da Evolução Biológica como um fato se baseia em evidências físicas passíveis de verificação e que se corroboram entre si. Para que o aluno compreenda que o processo evolutivo é percebido pela comunidade científica como uma realidade incontestável é

importante que as diversas categorias de evidências sejam colocadas e discutidas. Em nosso entendimento tais evidências são: caracteres homólogos, semelhanças moleculares, semelhanças embriológicas, convergência evolutiva ou analogia, estruturas vestigiais, registro fóssil e biogeografia.

Com base nessas categorias foram criadas tabelas individuais para cada situação de aprendizagem onde sua presença pode ser assinalada.

4.2. Categorização, descrição e interpretação dos dados

Para a fase de categorização e descrição buscou-se menções aos conteúdos que constituem cada categoria dentro dos quadros que detalham conteúdos, temas, competências e habilidades para cada situação de aprendizagem, e ao longo das mesmas. Quando momentos do texto eram considerados pertinentes às categorias, sua presença foi assinalada na tabela. Ao longo da análise os conteúdos encontrados foram assinalados com os códigos referentes à categoria da qual fazem parte. Os códigos são: Referências históricas (RH), Conceitos fundamentais da Evolução Biológica (CF) e Evidências do processo evolutivo (Ev). Os conteúdos que se encaixaram nas categorias foram então investigados acerca da sua precisão científica, de modo a classificá-los como aproximações ou distanciamentos, considerando o processo de transposição didática.

A partir deste momento as situações de aprendizagem foram analisadas individualmente.

4.2.1. Caderno do Professor, 3ª série, Volume 2 (SÃO PAULO, 2014)

Este volume possui dois Temas gerais e serem trabalhados ao longo de um semestre, sendo que cada um apresenta três situações de aprendizagem.

QUADRO 4: Temas e situações de aprendizagem.

TEMA	SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM
------	--------------------------

Tema - Origem e Evolução da vida: hipóteses e teorias	Situação de Aprendizagem 1 - A origem da vida (SA1)
	Situação de Aprendizagem 2 - Evolução: os seres vivos em transformação (SA2)
	Situação de Aprendizagem 3 - Grandes linhas de evolução dos seres vivos (SA3)
Tema - Origem e Evolução da vida: evolução biológica e cultural	Situação de Aprendizagem 4 - Como os seres humanos evoluíram? (SA4)
	Situação de Aprendizagem 5 - A espécie humana e seus ancestrais (SA5)
	Situação de Aprendizagem 6 - A intervenção humana na evolução, as transformações nos ambientes e o futuro da espécie humana (SA6)

4.2.1.1. Tema - Origem e Evolução da vida: hipóteses e teorias

O primeiro Tema é denominado ‘Origem e Evolução da vida: hipóteses e teorias’, e possui três situações de aprendizagem.

4.2.1.1.1. Situação de Aprendizagem 1 - A origem da vida (SA1)

QUADRO 5: Conteúdos, temas, competências e habilidades indicados para a situação de aprendizagem 1.

Conteúdos e temas: hipóteses sobre a origem da vida e a vida primitiva.
Competências e habilidades: interpretar as concepções religiosas e científicas para a origem da vida e dos seres vivos; buscar informações em um texto, figura, tabela ou gráfico a respeito das polêmicas sobre a origem da vida; entender os fatos científicos que sustentam a ideia, atualmente aceita, sobre como surgiram os primeiros seres vivos em nosso planeta; identificar evidências do processo de evolução biológica (fósseis, órgãos análogos, homólogos e vestigiais); interpretar a história da vida na Terra com base em escala temporal, indicando os principais eventos (surgimento da vida, das plantas, do homem etc.).
Sugestão de estratégias: atividade de organização de conhecimentos prévios a partir de discussão em grande grupo; interpretação de textos e figuras.
Sugestão de recursos: aparelho de DVD e TV; documentário exibido na TV Escola: Fernando

de Noronha: o arquipélago dos golfinhos, ou outro filme a escolher sobre a biodiversidade na Terra; lousa e giz.

Sugestão de avaliação: baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados e nas respostas às questões propostas.

Fonte: São Paulo, 2014l, p. 9.

QUADRO 6: Categorias de análise encontradas na situação de aprendizagem 1.

Categorias	
Referências históricas (RH)	
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica (CF)	
Evidências do processo evolutivo (Ev)	X

A situação de aprendizagem 1 é dividida em 7 etapas e versa principalmente sobre a origem da vida no planeta Terra, sem se aprofundar em questões referentes às conceitos evolutivos específicos. De fato, ao longo da mesma não há menção ao termo ‘evolução’ no sentido da Evolução Biológica exceto em seu quadro inicial, onde, no item ‘Competências e habilidades’, lê-se “identificar evidências do processo de evolução biológica (fósseis, órgãos análogos, homólogos e vestigiais)” (p. 9).

As evidências do processo evolutivo são mencionadas apenas a partir da etapa 4, que sugere uma discussão acerca do significado e da importância das evidências para o desenvolvimento da Ciência ao afirmar que a resposta para a questão da origem da vida ainda se encontra em aberto justamente pela ausência de evidências cabais. No entanto, as evidências mencionadas são de natureza **paleontológica** (Ev), e confirmam a ocorrência do processo evolutivo; é a ausência de evidências moleculares conclusivas que sustenta as incertezas acerca da origem da vida (Mayr, 2009). Tal ambiguidade se constitui em um distanciamento que pode se constituir como um obstáculo para a compreensão do objeto de estudos evolutivos.

Na mesma etapa, questão 1, lê-se: “Ninguém estava presente no momento do surgimento da vida. Assim, como é possível saber o que aconteceu? Que tipo de informação os cientistas utilizam?” (p. 15). A resposta sugerida ao professor diz: “Os cientistas utilizam evidências como os fósseis e as comparam com os seres vivos atuais buscando ligações e relações entre ambos...” (p. 15), uma afirmação que se mostra correta em si mesma no sentido de explicar como a ciência lida com **achados paleontológicos** (Ev), embora não explique como essas comparações podem ser feitas nem como elas podem indicar a presença da ancestralidade comum entre as espécies. No entanto, a sugestão de que a correlação entre espécies ancestrais e atuais poderia de algum modo explicar o surgimento da vida orgânica é uma incorreção e novamente indica uma confusão entre o que seriam evidências da origem bioquímica da vida e evidências do parentesco entre espécies, estas sim referentes ao processo evolutivo. Assim sendo, acreditamos que esse distanciamento também reforça o distanciamento apresentado anteriormente.

Na etapa 5 os **fósseis** (Ev) são novamente citados em uma resposta sugerida no sentido de explicar sua natureza e importância para o estudo da vida: “Os fósseis são restos do processo de mineralização que transforma matéria viva em rocha. Os fósseis são considerados documentos, pois informam como eram os seres vivos no passado, o que permite compará-los com os seres atuais” (p. 16). Ao afirmar que os fósseis são documentos, o material sugere que os mesmos representam evidências concretas do parentesco de espécies atuais com espécies extintas, sendo assim uma aproximação. No entanto, a informação em si esteja correta, está distante de qualquer contexto evolutivo, dado que nem o significado deste parentesco nem os mecanismos evolutivos pelos quais ele se dá são mencionados. Ressaltamos também que há um equívoco na definição do processo de formação dos fósseis. De acordo com Tomassi e Almeida (2011) são frequentes as incorreções acerca do conceito de fóssil em livros didáticos. Os fósseis se constituem por restos (e vestígios) de organismos, e não de um processo, fossilizados através de processos como o de mineralização, onde a matéria orgânica, e não matéria viva, é substituída por matéria mineral. No entanto, classificamos tal simplificação do conceito como uma aproximação, pois visa facilitar a compreensão acerca da definição e processo de fossilização e não prejudica o entendimento do processo evolutivo como um todo, sendo provavelmente resultado do processo de transposição didática ou falha na elaboração e revisão do material.

Na etapa 6 temos a pergunta 1: “O que é possível afirmar a partir da comparação dos achados fósseis com as formas atuais?” (p. 19) e sua resposta sugerida ao professor é “Espera-se que os alunos identifiquem algumas semelhanças morfológicas, como o formato do corpo, entre os achados de seres fósseis de 2 bilhões de anos e os seres atuais” (p. 19). Ora, não é possível encontrar semelhanças morfológicas como o ‘formato do corpo’ de seres atuais (por livre inferência, seres eucariontes e/ou pluricelulares) com seres “fósseis de 2 bilhões de anos” (p. 19), ou seja, seres procariontes microscópicos pertencentes ao período Pré-Cambriano (SADAVA et al., 2009; MAYR, 2009). Em nosso entendimento tal confusão se constitui como um distanciamento que dificulta a compreensão do mecanismo utilizado pela ciência para classificar achados **paleontológicos** (Ev) como evidências ao processo evolutivo. No entanto, por ser pontual, é provável que não afete de maneira ampla a compreensão do aluno.

Embora o quadro apresentado no início desta situação de aprendizagem indique que ao final da aplicação da mesma os alunos devam ter desenvolvido habilidades dentre as quais se encontram “identificar evidências do processo de evolução biológica (fósseis, órgãos análogos, homólogos e vestigiais” (p. 9), observamos que apenas os fósseis foram citados, no sentido de que podem ser comparados com os organismos atuais a fim de que as diferenças sejam percebidas. No entanto, tal comparação foi apresentada equivocadamente como ferramenta para elucidação da origem da vida, e não da Evolução Biológica, como indica o quadro inicial. Deste modo, os distanciamentos encontrados podem conduzir o aluno a uma confusão acerca da utilidade do registro fóssil como evidência evolutiva. Ainda assim, há uma aproximação onde os fósseis são classificados como documentos, ou seja, provas do parentesco entre as espécies. No entanto, não há homologia estrutural no “formato do corpo” de organismos procariontes em relação à organismos eucariontes, sendo esse um distanciamento prejudicial à compreensão especificamente deste conceito.

Em momento algum desta situação de aprendizagem o processo evolutivo foi mencionado, bem como seus mecanismos, e sendo assim, entendemos que os fósseis, embora corretamente descritos, são colocados equivocadamente como evidências da origem molecular da vida, e não da ocorrência do processo evolutivo. Os conceitos de órgãos análogos, homólogos e vestigiais não foram citados e desenvolvidos ao longo da situação de aprendizagem. Portanto,

no que diz respeito às categorias de análise da presente dissertação, encontramos apenas referências pertinentes à categoria “Evidências do processo evolutivo” (Ev) por conta das citações acerca do registro fóssil.

4.2.1.1.2. Situação de Aprendizagem 2 - Evolução: Os seres em transformação (SA2)

QUADRO 7: Conteúdos, temas, competências e habilidades indicados para a situação de aprendizagem 2.

Conteúdos e temas: evidências evolutivas; ideias evolucionistas de Darwin e Wallace e de Lamarck; adaptação e os mecanismos de evolução das espécies: mutação e seleção natural; fatores que interferem na constituição genética das populações: migrações, mutações, seleção e deriva gênica.
Competências e habilidades: identificar os mecanismos geradores (mutação e recombinação) e fatores orientadores (seleção natural) da grande variabilidade dos seres vivos; identificar a estreita relação entre os seres vivos e os ambientes; identificar o papel dos isolamentos geográfico e reprodutivo na formação de novas espécies; reconhecer as principais etapas da evolução dos grandes grupos de organismos; identificar e caracterizar as evidências da evolução biológica; identificar as ideias evolucionistas de Darwin e de Lamarck com base na leitura de textos históricos; identificar evidências do processo de evolução biológica (fósseis, órgãos análogos, homólogos e vestigiais); inferir que os resultados da seleção natural são a preservação e a transmissão para os descendentes das variações orgânicas favoráveis à sobrevivência da espécie no ambiente; identificar por comparação as conquistas evolutivas de um grupo de seres vivos em relação a outros.
Sugestão de estratégias: estudo de imagens e textos; jogo com situação-modelo, discussão e pesquisa orientada.
Sugestão de recursos: giz; lousa e material para o jogo do sucesso reprodutivo.
Sugestão de avaliação: baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados e na organização das informações no quadro, no resumo e no texto produzido; participação durante o jogo.

Fonte: São Paulo, 2014l, p. 22.

QUADRO 8: Categorias de análise encontradas na situação de aprendizagem 2.

Categorias	

Referências históricas (RH)	X
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica (CF)	X
Evidências do processo evolutivo (Ev)	X

O objetivo dessa situação de aprendizagem, de acordo com o quadro inicial, é trabalhar uma extensa gama de conteúdos pertinentes à Evolução Biológica ao longo de 7 etapas. Estão presentes diferentes teorias evolucionistas, mecanismos e conceitos pertinentes ao processo evolutivo, bem como diferentes categorias de evidências. Todas as categorias norteadoras desta análise encontram presentes de alguma maneira.

Inicialmente, a Evolução Biológica é colocada como “a forma de explicar a diversidade dos seres vivos que conhecemos” (p. 22). Como sensibilização, a etapa 1 sugere um exercício de construção da “árvore da família” do aluno, onde o mesmo deve ordenar parentes conhecidos e desconhecidos de acordo com suas características físicas. A função deste exercício, segundo o material, é exemplificar os obstáculos presentes no estudo da **filogenia** (CF) e também exemplificar como a ascendência leva indivíduos aparentados a apresentarem características em comum. No entanto, a árvore a ser construída é familiar e abrange apenas algumas gerações. Uma das principais dificuldades dentro do ensino de Evolução Biológica é a compreensão da escala de tempo geológica. Embora tal exercício tenha como objetivo ressaltar as dificuldades dos estudos de filogenia, a escala reduzida pode induzir o aluno a pensar que os processos evolutivos se dão em poucas gerações, ao longo de algumas décadas, e não em centenas ou milhares de gerações e através de eras geológicas. As árvores filogenéticas se propõe a traçar relações entre diferentes espécies, que se diferenciam entre si por conta de pressões seletivas e através do processo evolutivo, enquanto que a árvore genealógica proposta traça linhas entre indivíduos cuja variação de caracteres resulta principalmente do processo de recombinação genética. Entendemos portanto que tal exercício pode gerar confusão no aluno na medida que pretende explicar como se dá a ramificação de espécies dentro do processo evolutivo usando

genealógica familiar. Assim sendo, se constitui em um distanciamento que pode interferir na compreensão de conceitos centrais do conteúdo evolutivo.

Na etapa 2 o conceito de **homologia** (Ev) surge em diversos momentos, de modo a ressaltar que as similaridades entre estruturas morfológicas de espécies diferentes indicam uma ancestralidade comum. Como exemplo destacamos uma figura (Figura 9, p. 23) onde são comparados os ossos dos membros dianteiros de um ser humano, um cachorro e uma foca. Nas questões subsequentes pede-se que as semelhanças e diferenças entre os membros presentes na figura sejam observados e justificados, e em todas as respostas sugeridas é destacada a ancestralidade comum como origem das semelhanças. Ao final desta etapa o material sugere ao professor que “identifique o que foi mostrado na Figura 9 como órgãos homólogos, isto é, que tem origem embrionária semelhante, porém podem ou não desempenhar as mesmas funções” (p. 24). Embora a definição esteja de acordo com o conceito científico de homologia, entendemos que o adequado seria apontar que estruturas homólogas possuem origem a mesma origem molecular, e não embrionária. Assim sendo, classificamos a afirmação como um distanciamento que pode dificultar a compreensão de um conceito específico.

Ainda dentro da etapa 2 há a questão 5 e sua resposta sugerida:

5. Admitir parentesco entre os mamíferos significa dizer que eles se originaram a partir de um ancestral comum. De acordo com essa constatação, proponha uma explicação para as diferenças observadas.

A discussão pode levar os alunos a perceberem que as diversas formas devem ter surgido de um plano original, o que sugere uma origem comum. Destaque que essa é a base do pensamento evolucionista. Muito antes de os mecanismos de evolução biológica serem entendidos, algumas pessoas imaginavam que os organismos mudam com o passar do tempo e que haviam evoluído de outros já extintos, contestando o proposto pelo fixismo criacionista. Como visto na situação de aprendizagem anterior, para o criacionismo as espécies teriam sido criadas por Deus e seriam imutáveis. Se achar conveniente, converse com os alunos sobre os possíveis equívocos que confundem evolução e desenvolvimento. Aponte a diferença substancial que há entre o desenvolvimento de um órgão ou de uma função biológica ao longo da vida de uma pessoa, por exemplo, e a transformação de uma estrutura em outra, um processo que acontece ao longo de milhares de gerações. É importante enfatizar a escala de tempo desses processos. Muitos alunos não compreendem certos fenômenos evolutivos por não vislumbrar, convenientemente, o que é uma escala de tempo geológica, medida em milhões de anos (SÃO PAULO, 2014l, p. 24).

Podemos observar que o **fixismo criacionista** (RH) foi citado de maneira adequada, embora o contexto histórico seja colocado apenas de maneira superficial com a afirmação de que o fixismo das espécies começou a ser contestado antes mesmo da compreensão ampla dos mecanismos evolutivos. Deste modo, entendemos a menção ao fixismo como um distanciamento que não afeta a compreensão do conteúdo. A resposta sugerida também chama a atenção do professor para as dificuldades na compreensão do **tempo geológico** (CF) e indica que tal conceito seja destacado nas discussões entre os alunos. Este conceito foi colocado de maneira aproximada.

Na etapa 3 há novamente menção à ancestralidade comum, e entre os indícios dela, a “universalidade do código genético” (p. 24). Em nosso entendimento, nesta afirmação as **semelhanças moleculares** (Ev) são colocadas como evidências do processo evolutivo, constituindo então uma aproximação.

A importância do **registro fóssil** (Ev) aparece em um quadro (p. 25) que explana achados paleontológicos no Estado de Minas Gerais. O texto ressalta a importância dos achados paleontológicos para a compreensão dos mecanismos de atuação da Evolução Biológica, sendo assim uma aproximação.

Na subsequente questão 5, temos novamente referências à importância do **registro fóssil** (Ev):

5. Nas pesquisas sobre a história dos seres vivos na Terra, os fósseis são de grande importância. Por quê?

Os fósseis são importantes, pois nos dão informações sobre os seres que viveram no passado e permitem a comparação com os seres que vivem hoje. Ressalte a função dos fósseis como documentos das mudanças sofridas pelos seres vivos ao longo do tempo a partir de um ancestral comum (evidências do processo de evolução) (SÃO PAULO, 2014I, p. 26).

Entendemos que a resposta sugerida desta questão apresenta uma aproximação acerca da importância dos fósseis para os estudos evolutivos, na medida que explica o modo com que os mesmos são usados para comparar as adaptações sofridas pelas espécies ao longo do tempo.

Ainda na etapa 3 há a afirmação de que “o conceito de evolução revolucionou a Biologia e derrubou o fixismo, segundo o qual as espécies eram as mesmas desde a origem dos tempos” (p. 26), sendo a definição de **fixismo** (RH) uma aproximação.

A etapa 4, intitulada “Como ocorre a evolução”, apresenta um quadro (p. 28) contendo uma atividade baseada em um estudo acerca do tamanho dos bicos dos tentilhões no Arquipélago de Galápagos, conduzido por dois pesquisadores na década de 1970. O estudo relata a redução na variedade de tamanho dos bicos de uma população de tentilhões após 2 anos de estiagem acentuada, e também a diminuição do número de indivíduos. Espera-se que os alunos compreendam que as mudanças no ambiente geraram pressões seletivas mais severas que eliminaram parte da população, selecionando assim apenas os indivíduos cujas características morfológicas, definidas geneticamente, ofereceram maiores chances de sobrevivência e reprodução, o que só foi possível graças à variabilidade genética da população. Assim sendo, o texto implica corretamente que o processo evolutivo se caracteriza pela mudança na ocorrência de uma característica dentro da população, e não dos indivíduos. Consideramos que a atividade é eficaz em demonstrar o funcionamento da **seleção natural** (CF), ainda que em pequena escala, se constituindo portanto em uma aproximação.

Em seguida, há um quadro onde os princípios relacionados ao processo de **seleção natural** (CF) são sintetizados da seguinte maneira:

- Os indivíduos que compõem uma população apresentam variabilidade genética e muitas dessas variações são transmitidas aos descendentes pela reprodução.
- A população pode crescer indefinidamente, mas uma parte dos indivíduos morre antes da reprodução; os que sobrevivem podem deixar um número variável de descendentes e outros nem se reproduzem. Portanto, a cada geração, alguns indivíduos são mais bem-sucedidos que outros na sobrevivência e na reprodução.
- A sobrevivência e a reprodução não são aleatórias; estão ligadas às características dos indivíduos e à sua relação com outros indivíduos e o meio ambiente. Os que sobrevivem transmitem suas características aos seus descendentes (SÃO PAULO, 2014I, p. 29).

Consideramos tal síntese eficaz em transmitir de maneira concisa a maneira com que a seleção natural atua, sendo assim uma aproximação.

Ainda no mesmo quadro, afirma-se que Darwin e Wallace “foram responsáveis pela base científica para a compreensão do processo evolutivo” (p. 29), ressaltando que, embora tenham realizado pesquisas distintas, chegaram à mesma conclusão sobre as causas da biodiversidade. O texto afirma que “[o conceito da] descendência com modificação, foi substituído posteriormente

pelo termo evolução e o processo que promove a evolução foi denominado seleção natural” (p. 29). Temos portanto uma **contextualização histórica** (RH) acerca do desenvolvimento do pensamento evolutivo oferecida, embora superficialmente, de maneira aproximada.

A etapa 5 é intitulada “As idéias evolucionistas” e se inicia a partir da afirmação de que Lamarck propôs uma teoria para explicar a diversidade dos seres vivos em 1809, ou seja, no período anterior à Darwin e Wallace. Nas orientações ao professor, o material explica da seguinte maneira as diferenças nas proposições feitas por Lamarck em contraposição à Darwin e Wallace:

Para Lamarck, as adaptações nas espécies eram produto do esforço individual para mudar. Um exemplo constante nos livros didáticos é o das girafas: querendo alimentar-se de folhas de galhos mais altos das árvores, as girafas esticaram seu pescoço e transmitiram essa característica aos descendentes. Para Darwin e Wallace, as mudanças são populacionais. Para Darwin, a explicação para o exemplo das girafas seria outra. Em um habitat, a melhor opção de alimentos consistia em folhas altas. A população de girafas que ali vivia apresentava uma variabilidade fenotípica para tamanho de pescoço. As girafas que apresentavam pescoço maior colhiam as folhas altas com maior facilidade; as com pescoço menor, tendo mais dificuldade de se alimentar ou se reproduzir. Assim, como tempo, os animais de pescoço comprido foram favorecidos pelo ambiente, isto é, foram selecionados naturalmente, e os animais de pescoço menor acabaram por ser extintos ou se mudaram para outro local com condições que lhes fossem mais favoráveis. A variação é populacional e não individual (SÃO PAULO, 2014l, p. 30).

E também:

Para Lamarck, as adaptações nos indivíduos aparecem pelo uso e desuso e pela herança dos caracteres adquiridos, isto é, o que não se usa vai ficando atrofiado e o que se usa com frequência acaba se fortalecendo. Essas características são transmitidas para as gerações futuras. Portanto, as adaptações aparecem em uma população para desempenhar uma função específica, para adaptá-la ao meio. As espécies estariam em constante modificação para o aperfeiçoamento. Segundo Darwin, essa adaptação aparece devido a uma seleção natural. As populações biológicas apresentam variações entre seus indivíduos. Essas variações podem permitir que alguns indivíduos sobrevivam a variações no ambiente e os indivíduos que sobrevivem podem transmitir essas características a seus descendentes. Portanto, a seleção natural é produto das relações entre os organismos e seu ambiente (SÃO PAULO, 2014l, p. 30-31).

Embora o entendimento de Darwin e Wallace acerca do processo evolutivo esteja colocado de maneira aproximada, o mesmo não acontece com Lamarck. A explicação oferecida pelos textos é a de que o evolucionismo proposto por Lamarck se baseava nas chamadas lei do

uso e desuso e herança dos caracteres adquiridos. No entanto, é um equívoco afirmar que estas eram suas principais proposições, posto que seu entendimento acerca da diversificação das espécies tinha como foco a escalada gradual e linear na complexidade de espécies advindas da geração espontânea. A influência do ambiente seria apenas um mecanismo secundário. Além disso, a herança dos caracteres adquiridos não foi uma ideia proposta por Lamarck, mas sim um conceito amplamente aceito pela comunidade científica de sua época. Assim sendo, entendemos que o material, ao se propor a explicar as ideias defendidas por Lamarck, não só comete equívocos relacionados às suas proposições em si, mas também ignora o contexto histórico-científico da época. Além disso, situa as proposições de Lamarck e Darwin em polos opostos, como se Lamarck estivesse completamente equivocado em seus postulados e tivesse sido suplantado por Wallace e Darwin - embora o último fosse declaradamente lamarckista. Assim sendo, consideramos que este conteúdo sobre o **desenvolvimento do pensamento evolutivo** (RH) foi oferecido através de distanciamentos potencialmente prejudiciais à compreensão do conceito como um todo (MAYR, 1998, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005).

Finalizando esta etapa há uma atividade onde pede-se que a variabilidade genética sobre a qual a **seleção natural** (CF) atua seja explicada. Em resposta sugerida ao professor encontramos o seguinte texto:

As mutações e a recombinação gênica são responsáveis pela variabilidade sobre a qual atua a seleção natural. Na reprodução sexuada, há formação dos gametas por meiose. Durante a divisão celular, há possibilidade da ocorrência de falhas, isto é, pequenos erros no processo de cópia, originando células-filhas não exatamente iguais à célula-mãe. Esse é o conceito de mutação. Tais mutações podem modificar características dos indivíduos ou ser totalmente irrelevantes. Mutações ocasionam o aparecimento de novas formas de um gene (alelos). Muitas doenças humanas sérias são causadas por mutações. Quando ocorrem nas células germinativas, são transmitidas para as gerações seguintes. As mutações não são direcionadas. As mutações podem ser positivas, negativas ou neutras, dependendo da relação dos indivíduos com o ambiente. As mutações também podem ser gênicas ou cromossômicas. Durante a meiose, ocorre a separação dos cromossomos homólogos (pareados) e formam-se quatro células com metade do material genético. Na fecundação há a mistura do material genético dos pais e recombinação. Muitas combinações são possíveis, originando seres muito diferentes, embora descendentes dos mesmos pais (SÃO PAULO, 2014I, p. 31).

É estabelecido que a variabilidade genética das populações resulta tanto do processo de recombinação genética quanto da ocorrência de mutações, e os dois conceitos são oferecidos de

maneira aproximada ao conhecimento científico. Ressaltamos que para a compreensão do conceito de variação é necessário que o aluno tenha domínio de elementos pertinentes à genética, abordada anteriormente nos cadernos referentes à 2ª série (SÃO PAULO, 2014i, 2014j).

A etapa 6 apresenta uma atividade prática coletiva chamada “Evolução dos palitos”, que pretende simular “a história evolutiva de um organismo” (p. 31), e com isso desenvolver conceitos relativos à Evolução Biológica. Para tanto, partindo do desenho inicial de um traço/palito e seguindo uma ordem previamente estabelecida, cada aluno deve acrescentar outro traço à cópia do desenho feito pelo colega anterior. Segunda a atividade, “cada desenho representa uma população de determinada espécie. No processo, as espécies se modificaram com o passar do tempo” (p. 32). A atividade trata a evolução como um processo de aumento de complexidade, posto que a cada geração são acrescentadas características “positivamente” selecionadas. Além disso, sugere-se que as novas características surgiriam apenas através da ocorrência de mutações. A partir desta atividade o material sugere que sejam trabalhados os conceitos de organismo primordial, evolução de uma espécie, seleção natural, especiação, extinção em massa, homologia, analogia e radiação adaptativa. No entanto, estes conceitos são apresentados dentro do contexto da atividade, por meio de exemplos pertinentes à mesma, e não através de caracterização textual. Sobre a **seleção natural** (CF), o material diz:

[...] a seleção natural atua sobre as variações dos seres vivos e [...] as características não surgem com uma ou outra finalidade. As populações vão sofrendo modificações ao longo do tempo, pois os ambientes estão em constante transformação (SÃO PAULO, 2014l, p. 34).

Consideramos esta definição uma aproximação, na medida que evidencia que a evolução ocorre através de mudanças na população por conta de mudanças nas pressões ambientais e não é um processo finalista. No entanto, pensamos que a frase “a seleção natural atua sobre as variações dos seres vivos” seria melhor construída da seguinte maneira: “a seleção natural atua sobre as variações *nos caracteres* dos seres vivos”.

De acordo com o material, a especiação é um evento onde duas espécies se formam a partir da separação de uma população específica em dois grupos, e sugere que tal fato poderia ser resultado de um “isolamento geográfico ocasionado por uma barreira, como o aparecimento de um rio ou uma montanha, após um terremoto” (p. 34), e assim sendo “Os dois grupos, portanto,

estão sujeitos a pressões seletivas diferenciadas. Não há mistura de material genético, pois os dois grupos estão completamente separados” (p. 34). Estamos portanto falando da **especiação geográfica** ou alopátrica (CF), e a maneira com que tal conceito foi colocado aqui se constitui em uma aproximação.

A **homologia** não é definida neste momento do material, posto que o conceito já havia sido oferecido anteriormente nesta mesma situação de aprendizagem.

Para definir **analogia** (Ev), o material diz “órgãos [análogos] não possuem ancestralidade comum, mas exercem funções semelhantes. A analogia é uma forma de **convergência evolutiva**” (p. 36), conceito este que consideramos uma aproximação.

A teoria sintética da Evolução, ou **neodarwinismo** (RH) é citada uma única vez dentro das orientações didático-pedagógicas oferecidas ao professor: “... na época de Darwin e Wallace, não havia muitos conhecimentos de Genética e que, atualmente, a evolução é explicada pela teoria neodarwinista, que é a teoria darwinista acrescida dos conhecimentos de Genética” (p. 34). Embora oferecido de maneira simplificada e breve, destacado de qualquer contexto histórico, a conceituação se constitui em uma aproximação.

A etapa 7 visa trabalhar o papel da frequência dos genes no processo de Evolução. Inicialmente, afirma que “Em Genética, entendemos evolução como variação das frequências gênicas em uma população em um período de tempo” (p. 36). A fim de propiciar a compreensão do “efeito da mutação e da seleção natural na variação genética de uma população” (p. 37) o material propõe um jogo que trabalha a frequência genética da siclemia, ou anemia falciforme, em uma população africana. Ao longo da atividade encontramos referências o conceito de **fluxo gênico** (CF), definindo a imigração e emigração como fatores evolutivos, e assim sendo se constitui em uma aproximação. A **deriva gênica** (CF) é definida da seguinte maneira:

Eventos aleatórios podem alterar a frequência dos alelos. Uma redução da população ou outro evento podem limitar os indivíduos que contribuem com genes para a próxima geração. Se apenas alguns indivíduos contribuem, os alelos que eles possuem provavelmente não representarão as frequências alélicas de toda a população a que pertencem e a nova geração terá uma frequência diferente da geração anterior (SÃO PAULO, 2014I, p.40).

No entanto, a deriva genética se caracteriza por mudanças aleatórias na frequência de genes, nem sempre por conta de eventos específicos ou redução nas populações. Consideramos

portanto que esta definição é um distanciamento em relação ao conhecimento científico que poderia prejudicar a compreensão deste conceito.

Nas questões finais acerca dessa situação de aprendizagem encontramos a questão 1, que pede: “Cite três evidências que apoiam a teoria da evolução biológica.” (p. 41), e a resposta sugerida é “Registros fósseis, evidências anatômicas e fisiológicas (órgãos homólogos, órgãos vestigiais, evidências moleculares) etc.” (p. 41), que condiz com o conhecimento evolutivo. No entanto, ressaltamos que em momento algum do material o conceito de órgãos vestigiais é abordado.

Na questão 3, o item b pede “Que mecanismos são responsáveis pelas diferenças genéticas entre as populações?” (p. 42), e a resposta sugerida é “Mutação, recombinação gênica [...] e seleção natural.” (p. 42). De acordo com o conhecimento científico, a **seleção natural** (CF) atua sobre a variabilidade genética de uma população, sendo esta variabilidade resultante dos processos de mutação e recombinação gênica. Assim sendo, entendemos que os mecanismos responsáveis pela variação genética são apenas a recombinação gênica e as mutações, o que classifica a resposta como um distanciamento potencialmente prejudicial ao conceito de Evolução como um todo.

Assim sendo, nesta situação de aprendizagem encontramos menções à tópicos pertencentes a todas as categorias desta análise.

Em relação às referências históricas (RH), o desenvolvimento do pensamento evolutivo aparece em menção à importância das proposições de Darwin e Wallace para o estabelecimento do processo evolutivo dentro da comunidade científica, oferecido de maneira breve porém aproximada. As proposições de Lamarck são trabalhadas de maneira mais extensa, mas se constituem em distanciamentos, na medida de que resumem sua obra às teorias do uso e desuso e da herança dos caracteres adquiridos, ignorando suas proposições principais e o contexto histórico e social no qual ele estava inserido. O material reforça a dicotomia Darwin *versus* Lamarck ao prescindir da contextualização histórica dos momentos em que os dois naturalistas desenvolveram suas teorias, bem como ao desconsiderar que Darwin se utilizou dos postulados de Lamarck para o desenvolvimento de sua teoria evolutiva. O fixismo também aparece de maneira

momentânea porém adequada. Há ainda menção ao neodarwinismo, com sua conceituação simplificada, porém correta, mas destacada do contexto histórico.

Acerca dos conceitos fundamentais (CF) ao entendimento da evolução biológica, diversos tópicos foram encontrados. A filogenia aparece de maneira distanciada através de uma atividade prática que busca explicar o mecanismo de estudo filogenético através da construção de uma árvore genealógica familiar. Já o tempo geológico é conceituado de maneira correta, assim como o mecanismo de especiação geográfica. O mecanismo de seleção natural foi apresentado em diversos momentos através de aproximações. No entanto, em dado momento o mesmo é colocado não como o mecanismo que atua sobre a variabilidade genética de uma população, mas como um dos responsáveis por esta variabilidade, sendo assim um distanciamento potencialmente prejudicial à apreensão do conteúdo. A deriva genética também surge de maneira distanciada, uma vez que não fica claro seu caráter aleatório. Já o conceito de fluxo gênico é oferecido de maneira aproximada.

No que se refere às evidências do processo evolutivo (Ev), a homologia aparece em um distanciamento, na medida que sua origem é colocada como embrionária, e não molecular. No entanto, o exemplo de sua ocorrência que é oferecido se mostrou adequado. As semelhanças moleculares, as estruturas análogas e o registro fóssil foram conceituados de maneira aproximada.

Assim sendo, esta situação de aprendizagem apresentou uma quantidade maior de aproximações ao conhecimento científico, embora os distanciamentos, principalmente no que se refere ao contexto histórico do pensamento evolutivo e no posicionamento inadequado da seleção natural dentro do processo evolutivo se constituem em distanciamentos que em nosso entendimento podem ser prejudiciais à compreensão do conceito como um todo. No entanto, é importante ressaltar que, excetuando-se os quadros contendo textos e atividades, os conceitos e explicações oferecidos se encontram apenas nas orientações didático-pedagógicas direcionadas ao professor, ou seja, o material do aluno não apresenta textualmente os conceitos analisados.

4.2.1.1.3. Situação de Aprendizagem 3 - Grandes linhas de Evolução dos seres vivos (SA3)

QUADRO 9: Conteúdos, temas, competências e habilidades indicados para a situação de aprendizagem 3.

Conteúdos e temas: grandes linhas de evolução dos seres vivos; árvores filogenéticas.
Competências e habilidades: conhecer a influência das condições ambientais, do tipo de clima e da temperatura durante a história da Terra; ler e interpretar gráficos sobre as variações de clima e temperatura; compreender como as inovações evolutivas se sucederam ao longo dos períodos geológicos; reconhecer em figuras e árvores filogenéticas as relações de parentesco entre os seres vivos.
Sugestão de estratégias: estudo e discussão de textos, gráficos, tabelas e imagens; pesquisa orientada.
Sugestão de recursos: Caderno do Aluno; giz; lousa.
Sugestão de avaliação: baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados e na organização das informações.

Fonte: São Paulo, 2014l, p. 43.

QUADRO 10: Categorias de análise encontradas na situação de aprendizagem 3.

Categorias	
Referências históricas	X
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica	X
Evidências do processo evolutivo	X

Tal situação de aprendizagem possui 3 etapas e tem como foco as linhas de Evolução dos seres vivos. Para tanto, apresenta gráficos acerca das variações climáticas e do nível do mar ao longo das eras geológicas, a fim de que o aluno possa relacionar tais variações com a presença de seres vivos, grandes extinções e também com as modificações atmosféricas geradas pela presença de organismos vivos.

A etapa 1 discute como a oscilação do clima no planeta ao longo do tempo geológico, a variação do nível dos oceanos e a variação dos níveis de O₂ na atmosfera conjuntamente influenciam o processo da **seleção natural** (CF) por conta das mudanças nas pressões evolutivas

e a consequente necessidade de adaptação dos organismos vivos, bem como sua atuação nas extinções. Tal relação se constitui em uma aproximação, posto que está de acordo com o entendimento da ciência acerca do tema (SADAVA et al., 2009).

Na etapa 2 encontramos um quadro intitulado “As novidades evolutivas e a história da vida na Terra” cujo texto é:

A forma como as inovações evolutivas surgem tem sido tema de debate desde Darwin e Wallace até hoje. Chamamos de novidades evolutivas as mudanças estruturais derivadas de espécies ancestrais que permitiram a adaptação de organismos a modos de vida especiais. Por exemplo, o aparecimento de asas em vertebrados correspondem a modificações de seus membros anteriores.

A Terra está em constante transformação. Os diversos eventos geológicos alteraram os ambientes terrestres, definindo os rumos da evolução. Esses eventos alteram as pressões evolutivas que interferem no desenvolvimento das populações sobre o planeta (SÃO PAULO, 2014l, p. 45).

Embora o texto esteja de acordo com o conhecimento científico, chama a atenção a ausência do termo ‘**seleção natural**’ (CF), posto que é este o processo descrito e o mesmo já havia sido trabalhado na situação de aprendizagem anterior. Há também um pequeno distanciamento na frase “o aparecimento de asas em vertebrados”. Pensamos que seria adequado que o termo usado fosse desenvolvimento, posto que os caracteres fenotípicos não “aparecem”, mas sim se desenvolvem gradualmente. No entanto, classificamos tal distanciamento como prejudicial apenas a compreensão de um elemento específico.

Na etapa 3 a **filogenia** (CF) é definida da seguinte maneira:

A incrível riqueza do mundo biológico atual resultou de milhões de eventos de especiação. A história da descendência de um grupo de organismos e de seu ancestral é representada pela filogenia. As linhagens de organismos podem ser representadas como “árvores ramificadas” – as “árvores da vida” – que mostram a ordem em que grupos de organismos (clados) se separaram (SÃO PAULO, 2014l, p. 47).

Consideramos tal definição uma aproximação adequada de acordo com a literatura científica. Em seguida são apresentadas figuras de árvores filogenéticas (Figuras 15 e 16, p. 48), e ao longo das questões propostas espera-se que os alunos relacionem o desenvolvimento de novos caracteres nas populações ao processo de **especiação** (CF - cladogênese), ou seja, o surgimento de novas espécies a partir de ancestrais comuns, e compreendam como tal processo pode ser representado através do formato de árvores ramificadas. Na questão 1, por exemplo,

pede-se que os alunos enumerem o surgimento de caracteres resultantes da Evolução ao longo dos ramos de duas árvores filogenéticas. As figuras, no entanto, trazem apenas os táxons, sendo assim as respostas condicionadas à conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo de zoologia e botânica.

Além disso são feitas relações entre as pressões evolutivas, as adaptações provocadas por elas através do desenvolvimento de novos caracteres e as vantagens evolutivas conferidas pelos mesmos, ou seja, o processo de **seleção natural** (CF), como na questão 2:

2. Identifique e explique as novidades evolutivas que permitiram a passagem das plantas do ambiente aquático para o terrestre.

O ambiente terrestre apresenta pouca água em relação ao ambiente aquático, que é um elemento essencial à vida. O problema da perda de água dos seres terrestres foi solucionado com estruturas como a epiderme com cutícula e embriões protegidos. O aparecimento dos tecidos condutores verdadeiros (traqueídes) também favoreceu a independência do ambiente aquático, permitindo o desenvolvimento de raízes e caule. O aparecimento de adaptações reprodutivas como meios independentes da água possibilitou o trânsito dos gametas e a dispersão das sementes. A independência reprodutiva total da água ocorreu apenas nas gimnospermas e angiospermas com a formação do tubo polínico durante a fecundação (SÃO PAULO, 2014l, p. 49).

O termo “aparecimento” é utilizado no lugar de “desenvolvimento”, um distanciamento que no entanto é prejudicial apenas a compreensão de um elemento específico, possivelmente resultado do processo de transposição. A questão 4 apresenta pede que o aluno relacione a atividade “evolução dos palitos” presente na situação de aprendizagem anterior à atividade das árvores filogenéticas presente nesta etapa, há um apanhado de conceitos do processo evolutivo em sua resposta sugerida:

Atualmente, as teorias evolutivas são amplamente aceitas e, graças aos avanços nos estudos paleontológicos, ecológicos e genéticos, podemos entender mecanismos que Darwin em sua época não podia. Em Genética, entendemos evolução como variação das frequências gênicas em uma população em determinado período. Espera-se que os alunos identifiquem semelhanças entre as duas atividades, como a atuação da seleção natural sobre uma variedade existente, a qual leva à adaptação (SÃO PAULO, 2014l, p. 49).

Temos aqui menções aos estudos do **registro fóssil** (Ev) e acerca da **variabilidade genética** (CF). Embora o termo “teorias evolutivas” possa ser considerado um distanciamento potencialmente prejudicial à compreensão do conceito como um todo, as afirmações oferecidas

na resposta se mostram alinhadas com o conhecimento científico, se constituindo assim em aproximações.

Elementos como a ancestralidade comum, as adaptações e as vantagens evolutivas conferidas pelas mesmas e o gradualismo do processo científico continuaram a ser trabalhados.

Na questão 2 presente na p. 51 é relatado o modo utilizado pelos paleontólogos para datar um **fóssil** (Ev) não descrito encontrado conjuntamente à outras espécies em um mesmo estrato geológico. A atividade demonstra como a confrontação dos dados acerca dos períodos geológicos em que ocorreram tais espécies possibilitou compreensão do período geológico em que a espécie do fóssil não descrito viveu, por entender-se que tal período deveria ser aquele em que ocorriam todas as espécies encontradas no mesmo estrato. Esta atividade se constitui em uma aproximação importante, posto que descreve como um fóssil, ou seja, uma das evidências mais contundentes do processo evolutivo, pode ser situado de maneira segura em um período geológico através de uma metodologia científica.

Ao final desta situação de aprendizagem temos um quadro (p. 52-53) que apresenta o texto “As cinco teorias de Darwin”, de autoria do médico e divulgador da científico brasileiro Drauzio Varella. Embora seja um texto que visa a divulgação científica, e não direcionado à educação formal, posto que foi publicado em um jornal de circulação nacional, o texto se propõe a explicar, de modo simplificado, a Evolução Biológica a partir dos **cinco aspectos referentes ao processo evolutivo propostos por Darwin** (RH). Ao dissertar sobre a ancestralidade comum, o autor lembra que tal conceito se confirma por meio de **semelhanças anatômicas** (Ev) e **moleculares** (Ev) entre os seres vivos, e também pelos **padrões de distribuição geográfica** (Ev). Em seguida, o autor lembra que a Evolução é um processo constante, e que nele as espécies se modificam ao longo do tempo. Novamente as semelhanças entre os organismos são citadas como evidência, juntamente com o **registro fóssil** (Ev). Ao dissertar sobre o gradualismo do processo evolutivo, o autor afirma que “a seleção natural age somente através do acúmulo de sucessivas variações favoráveis à sobrevivência” (p. 53). Finalmente, ao conceitualizar a **seleção natural** (CF), o autor lembra que tal processo só ocorre por conta da variabilidade genética encontrada dentro das populações de uma mesma espécie. O texto termina com a afirmação de que “A seleção natural é um mecanismo universal inexorável” (p. 53). Consideramos que o

texto, embora não seja direcionado a alunos da educação formal, apresenta diversas aproximações ao explicar as etapas do processo evolutivo postuladas por Darwin e corroboradas pela ciência atual de maneira condizente ao conhecimento científico atual (FUTUYMA, 1997; MAYR, 2009; MEYER e EL-HANI, 2005; SADAVA et al., 2009).

Nas questões finais desta situação de aprendizagem, pertinentes ao texto, finalmente temos a pergunta “o que é seleção natural?” (pg 54), na questão 2, item a. A resposta sugerida é:

A seleção natural é o mecanismo pelo qual as características favoráveis tendem a proporcionar maior sucesso dos indivíduos de uma espécie no ambiente, ao passo que as características desfavoráveis podem eliminar alguns indivíduos, de modo que a reprodução deles fique comprometida e tal característica seja eliminada da população (SÃO PAULO, 2014I, p. 54).

A definição de **seleção natural** (CF) oferecida, embora possa ser considerada uma simplificação na medida que não cita os processos de recombinação gênica e mutação que alimentam a seleção natural, se constitui em um distanciamento que não prejudica a compreensão do conceito.

Embora o quadro inicial indique que os objetivos desta situação de aprendizagem são a apreensão dos conteúdos relacionados às linhas de evolução e árvores filogenéticas, outros elementos pertinentes ao processo evolutivo foram mencionados, possivelmente por terem sido trabalhados em uma situação de aprendizagem anterior e se constituírem em conceitos fundamentais para a compreensão das mesmas. No que se refere ao contexto histórico, temos um texto em que é feita a fragmentação da teoria evolutiva de Darwin em cinco diferentes tópicos. Assim sendo, são citados diversos conceitos (CF) como a seleção natural, que também é conceituada em outros momentos ao longo da situação de aprendizagem, bem como as evidências (Ev) do processo evolutivo, a saber, semelhanças anatômicas ou homologias, semelhanças moleculares, biogeografia e registro fóssil. Outros conceitos (CF) como a cladogênese, citada indiretamente através do processo de especiação, e filogenia também foram encontrados.

A presente situação de aprendizagem apresentou aproximações e distanciamentos de maneira equilibrada. Em sua maioria, os distanciamentos não se mostraram prejudiciais à compreensão do processo evolutivo como um todo, se concentrando em uso de termos inadequados que no entanto podem ser resultado de descuidos na elaboração do material ou da

transposição didática. As aproximações, contudo, se mostraram altamente eficientes ao citar diversos elementos pertinentes à Evolução Biológica em concordância com conhecimento científico, como o registro fóssil, a filogenia e diversos conceitos chave pertinentes ao darwinismo, como as semelhanças anatômicas e moleculares, biogeografia, seleção natural e registro fóssil.

4.2.1.2. Tema - Origem e evolução da vida: evolução Biológica e cultural

O segundo tema é denominado ‘Origem e evolução da vida: evolução biológica e cultural’ e possui três situações de aprendizagem.

4.2.1.2.1. Situação de Aprendizagem 4 - Como os seres humanos evoluíram (SA4)

QUADRO 11: Conteúdos, temas, competências e habilidades indicados para a situação de aprendizagem 4.

Conteúdos e temas: história da evolução humana; parentesco humano com outros primatas; árvores filogenéticas dos homínídeos.
Competências e habilidades: ler e interpretar imagens relativas à evolução dos homínídeos; selecionar informações em textos sobre evolução; estabelecer relações de parentesco em árvores filogenéticas de homínídeos; identificar as principais etapas da evolução com base em textos ou na análise de árvores filogenéticas.
Sugestão de estratégias: atividade de organização de conhecimentos prévios por meio de interpretação de figuras e discussão em grande grupo.
Sugestão de recursos: figuras presentes no Caderno do Aluno.
Sugestão de avaliação: baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados e nas respostas às questões propostas.

Fonte: São Paulo, 2014l, pg. 56.

QUADRO 12: Categorias de análise encontradas na situação de aprendizagem 4.

Categorias	

Referências históricas (RH)	X
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica (CF)	X
Evidências do processo evolutivo (Ev)	X

A presente situação de aprendizagem conta com 2 etapas e tem como foco a Evolução do *Homo sapiens*, e portanto visa que ao seu final os alunos possam compreender o processo de Evolução da espécie humana. Os elementos centrais a serem trabalhados são a ancestralidade comum entre os hominídeos e a árvore filogenética da nossa espécie.

Encontramos algumas referências aos **processo histórico** (RH) do conceito de Evolução já na etapa 1, quando duas imagens são apresentadas a fim de que seus conteúdos sejam comparados (p. 57). A primeira imagem (Figura 19, p. 57) é uma representação linear da Evolução do *Homo sapiens*, condizente com a evolução direcional através do aumento linear de complexidade proposta por Lamarck e considerada verídica em sua época. Já a segunda imagem (Figura 20, p. 57) traz uma **árvore filogenética** (CF) que ilustra as relações de parentesco entre o *Homo sapiens* e outras espécies de primatas de maneira ramificada, modelo proposto por Darwin e legitimado pela comunidade científica a partir de evidências moleculares. A comparação pode reforçar de maneira acessível as diferenças entre modelos científicos propostos em momentos históricos diferentes e a partir de dados científicos diferentes, além de ilustrar a como complexidade do processo evolutivo é entendida atualmente. Embora a árvore filogenética apresentada seja simplificada em relação à filogenia da espécie humana traçada pela ciência atual, consideramos que a mesma representa um distanciamento eficaz no sentido de deixar claro o conceito de **cladogênese** (CF) através da especiação, embora estes termos não sejam utilizados. O texto posterior destaca o processo de “modificação das espécies ao longo do tempo” (p. 58) que constitui a evolução, em concordância com a literatura científica. A Figura 19 é descrita da seguinte maneira:

A figura 19 traz uma versão linear do processo evolutivo, a ideia de ascensão unidirecional da vida a partir de uma suposta “substituição” das espécies, e o ser humano atual como produto final desse processo; diverge, portanto, do conceito de “árvore” proposto por Darwin... (SÃO PAULO, 2014l, p. 58).

Embora esta citação não mencione o nome de Lamarck ou outros naturalistas que propunham que a evolução se desse de maneira linear e finalista, o modo com que tal entendimento acerca do processo evolutivo como percebido em antes da teoria proposta por Darwin se mostra correto, bem como a menção ao modelo de **árvore filogenética** (CF) proposto pelo mesmo. Dado que Lamarck já foi citado em uma situação de aprendizagem anterior, é possível que os alunos relacionem a linha evolutiva linear como pertencente às suas proposições. O texto enfatiza que os alunos devem compreender a relação evolutiva entre alguns primatas, destacando a ancestralidade comum. Entendemos que tal atividade, proposta como sensibilização inicial ao tema da situação de aprendizagem, se mostra correta nas considerações que faz, e contém um distanciamento que se mostra adequado no sentido de auxiliar a compreensão do conhecimento relativo à filogenia dos primatas.

Na etapa 2 desta situação de aprendizagem há outra figura (Figura 21, p. 59) que compara as mãos de um chimpanzé e de um humano, as das pélvis (neste caso incluindo a estrutura óssea) de um humano e de outro primata cuja espécie não foi apontada, a fim de que as similaridades sejam percebidas. Entendemos que tal figura suscita indiretamente a **homologia fenotípica** (Ev) entre duas espécies, embora não cite o termo, posto que tanto o formato das mãos, incluindo o polegar opositor, quanto a estrutura óssea das pélvis, são similares e a ilustração aponta essas semelhanças, se constituindo portanto em uma aproximação importante. Na resposta sugerida à questão 1 desta etapa 2, que pede que o aluno indique as semelhanças entre as duas mãos apresentadas, há menção também das diferenças, a fim de que as mesmas sejam relacionadas ao modo de vida e pressões sofridas durante o desenvolvimento de cada espécie, ou seja, se refere ao processo de **seleção natural** (CF). Na pergunta 2 é pedido que se identifique as diferenças entre as pélvis presentes na figura, destacando que as mesmas são adaptadas de modo a suportar a massa corpórea de cada espécie. Embora a frase “A pélvis humana é curta e mais ampla. O ângulo das pernas, em relação ao da cintura pélvica (bacia), é adaptado para suportar a massa corpórea” (p. 60), esteja correta, pois indica a ocorrência de **adaptações fenotípicas** (CF) ocasionadas pelo processo evolutivo, as pressões que deram origem à essas adaptações não foram levantadas no material. Nas questões seguintes pede-se que as diferenças entre primatas e

outros mamíferos sejam identificadas (questão 3) a fim de que sejam discutidas as adaptações evolutivas de cada grupo. A resposta sugerida é:

Visão binocular; dedos oponíveis; membros e mãos adaptados para pendurar-se, saltar e balançar-se nos ramos; habilidade para pegar e manipular objetos pequenos usando dedos com unhas em lugar de garras; vida familiar e cuidados com a prole (SÃO PAULO, 2014I, p. 60).

Alguns elementos elencados, como por exemplo vida familiar e cuidados com a prole, se constituem como um distanciamento que pode prejudicar a compreensão de elementos pontuais, posto que outros mamíferos além dos primatas vivem em grupos familiares e despendem cuidados com a prole, como por exemplo os cetáceos da ordem Odontoceti, ou seja, tal comportamento não foi desenvolvido exclusivamente na adaptação evolutiva dos primatas. Já outros elementos como os dedos oponíveis se constituem em aproximações, na medida de que estão alinhadas com o conhecimento acadêmico.

A questão seguinte (questão 4) pede que sejam apontadas as diferenças entre os hominídeos e os demais primatas. A resposta sugerida é:

Algumas possibilidades de resposta: maxilares menos proeminentes; aumento do volume do crânio; postura ereta – as mãos liberadas das funções de locomoção passaram a ser usadas para manejar armas de caça e ferramentas; desenvolvimento da comunicação e da fala; vida social complexa (SÃO PAULO, 2014I, p. 60).

Esta resposta apresenta o mesmo distanciamento encontrado na resposta anterior, na medida que cita a vida social complexa dos hominídeos como diferença entre os mesmos e outros primatas. Ora, é amplamente sabido que primatas são espécies sociais que vivem em grupos com estrutura social complexa, apresentando inclusive hierarquias onde cada membro tem seu lugar e função nos bandos. Chimpanzés, Bonobos e Gorilas são exemplos clássicos deste comportamento. Ou seja, tal adaptação evolutiva não é exclusiva dos hominídeos, como a resposta sugere. Já a característica “desenvolvimento e comunicação da fala” constitui uma aproximação, posto que está adequadamente alinhado com os fatos científicos.

Assim sendo, embora seja pedido que diferenças entre esses grupos sejam apontadas, algumas delas não se constituem de fato como características exclusivas destes táxons, e tal distanciamento pode prejudicar a compreensão acerca das adaptações apresentadas por primatas

e hominídeos, na medida que coloca determinadas características que exigem uma certa complexidade intelectual como exclusiva dos mesmos, o que pode sugerir indiretamente uma superioridade do táxon no qual o *Homo sapiens* está inserido. Assim sendo, os distanciamentos acima descritos podem causar uma ausência de clareza na compreensão das adaptações decorrentes do processo de **seleção natural** (CF). No entanto, tais obstáculos não se constituem em entraves à apreensão do conceito de Evolução.

Em dado momento se afirma que “muitos cientistas consideram o bipedalismo uma característica definidora dos hominídeos” (p. 60). Embora o bipedalismo seja encontrado em outras espécies não relacionadas aos primatas, de fato o *Homo sapiens* é o único primata não extinto inteiramente bípede. Consideramos que este se constitui em um distanciamento que visa simplificar e facilitar a compreensão das diferenças entre as espécies dentro de sua **filogenia** (CF), e não é prejudicial à apreensão do tema. Mais à frente sugere-se uma discussão acerca das vantagens do bipedalismo durante a evolução dos hominídeos, destacando a teoria de que mudanças climáticas transformaram o ambiente e o andar apoiado em dois membros se mostrou uma característica favorável à sobrevivência. As vantagens destacadas a fim de que o professor possa enriquecer o debate são: “Facilidade em transpor obstáculos; economia energética; ampliação do campo de visão com o levantamento do olhar; e liberação das mãos para diferentes usos, como segurar ferramentas e cuidar dos filhotes (p. 61). Consideramos que estes pontos se constituem em aproximações importantes por estarem de acordo com a literatura científica relativa às adaptações fenotípicas proporcionadas pela **seleção natural** (CF).

As questões finais da situação de aprendizagem tem como objetivo recapitular o conteúdo trabalhado ao longo da mesma, sendo algumas delas retiradas vestibulares. A questão 1 (p. 61) questiona os motivos pelos quais **Darwin** (RH) é considerado o naturalista que iniciou ou estudos evolutivos, e a resposta assinalada como correta é “[ele] propôs um mecanismo para explicar a evolução das espécies, em que a variabilidade entre os indivíduos, relacionada à adaptação ao ambiente, influi nas chances de eles deixarem descendentes” (p. 61), ou seja, uma aproximação condizente com a literatura científica. A questão seguinte (p. 62) é de múltipla escolha e oferece diferentes definições acerca do processo evolutivo, sendo a resposta correta “sobrevivência de indivíduos portadores de determinadas características genéticas em ambientes

específicos” (p. 62). Embora de maneira simplificada a resposta está alinhada com o conhecimento científico, sendo assim um distanciamento que visa facilitar a compreensão dos resultados dos mecanismos de **seleção natural** (CF). A terceira e última questão aborda o papel da pesquisa de **genética molecular** (CF) na determinação do parentesco entre a espécie humana e os chimpanzés ao afirmar que “Ao analisar porções de DNA não codificantes em humanos e chimpanzés, o biólogo americano Morris Goodman descobriu que as duas espécies têm aproximadamente 98,4% de identidade” (p. 62), ressaltando que a maior parte das diferenças se dão no modo com que a codificação do DNA é convertida em proteínas. Assim sendo, o aluno deve assinalar a resposta correta acerca da relação de parentesco entre humanos e chimpanzés, isto é, a resposta que indica que as duas espécies possuem um ancestral comum, caracterizando assim uma aproximação.

Assim sendo, elementos relacionados às três categorias desta análise estão presentes nesta situação de aprendizagem. O processo histórico (RH) foi citado de maneira indireta através do entendimento linear filogenia presente no período anterior à Darwin e diretamente quando menciona o mesmo de modo a ressaltar seu papel central no desenvolvimento da teoria evolutiva. Conceitos considerados fundamentais (CF) como a seleção natural, através de seus mecanismos e resultados, o uso da genética molecular e da filogenia nos estudos evolutivos o processo de cladogênese como responsável pela ramificação filogenética das espécies foram citados. Dentro das evidências (Ev) da ocorrência do processo evolutivo tivemos a menção indireta à homologia entre estruturas ósseas pertencentes à primatas diferentes.

Concluimos portanto que as aproximações e distanciamentos se mostram equilibradamente presentes nesta situação de aprendizagem. No entanto, nenhum dos distanciamentos se mostrou prejudicial à apreensão dos conceitos e elementos principais acerca da Evolução Biológica, e inferimos que os mesmos são resultado do processo de transposição do conhecimento científico. Os temas apontados como centrais nessa situação de aprendizagem no quadro inicial foram: história da Evolução humana, parentesco humano com outros primatas e árvores filogenéticas dos homínídeos. Entendemos assim que todos esses conteúdos foram trabalhados de maneira adequada através de aproximações pertinentes e distanciamentos justificáveis.

4.2.1.2.2. Situação de Aprendizagem 5 - A espécie humana e seus ancestrais (SA5)

QUADRO 13: Conteúdos, temas, competências e habilidades indicados para a situação de aprendizagem 5.

Conteúdos e temas: evolução da espécie humana: os ancestrais hominídeos, evolução biológica e cultural.
Competências e habilidades: ler e interpretar imagens relativas à evolução dos hominídeos; identificar e explicar aspectos da interação entre os mecanismos biológicos e culturais na evolução humana; interpretar o processo evolutivo humano como resultado da interação entre mecanismos biológicos e culturais.
Sugestão de estratégias: atividade de organização de conhecimentos prévios por meio de interpretação de figuras e discussão em grande grupo.
Sugestão de recursos: textos e figuras do Caderno do Aluno; aparelho de DVD ou computador com DVD-Rom; documentário exibido pela TV Escola Humanos: quem somos nós? O nascimento da mente humana, série canadense de Christopher Rowley.
Sugestão de avaliação: baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados, na apresentação da pesquisa sobre o processo de evolução humana e nas respostas às questões propostas.

Fonte: São Paulo, 2014l, pg. 63.

QUADRO 14: Categorias de análise encontradas na situação de aprendizagem 5.

Categorias	
Referências históricas	
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica	X
Evidências do processo evolutivo	X

A presente situação de aprendizagem conta com 5 etapas e versa sobre o processo evolutivo do *Homo sapiens*, considerando seus aspectos biológicos e culturais e com foco nas relações entre a espécie humana e seus ancestrais hominídeos. O caráter transitório da ciência e

seu funcionamento através da revisão e reinterpretação de seus questionamentos também são contemplados.

Em sua maior parte a presente situação de aprendizagem se concentra em pormenores relacionados à construção da árvore filogenética do ser humano, em características fenotípicas que diferem entre diferentes espécies, e sugere pesquisas aprofundadas sobre cada uma delas para posterior discussão. Há também discussões acerca das relações entre a Evolução Biológica e a evolução cultural da espécie humana, no sentido de que o desenvolvimento de traços culturais influenciaram as adaptações de nossa espécie até os dias atuais. A acuidade de tais conteúdos fogem ao escopo da análise da presente dissertação e portanto não foram investigados.

Como sensibilização inicial há um texto intitulado “Lucy e os ancestrais humanos” (p. 64-65). Neste texto o autor descreve a descoberta paleontológica do **fóssil** (Ev) de *Australopithecus afarensis* denominado *Lucy*, ocorrida em 1974 no continente africano e responsável pela descrição da espécie, e ressalta a importância de tal achado para a construção da **árvore filogenética** (CF) dos hominídeos. Mais adiante, o autor descreve outras descobertas e posterior classificação de diversos fósseis de hominídeos e ressalta como tais achados vêm construindo a árvore filogenética humana, na medida que tanto características em comum quanto as díspares entre as espécies classificadas dentro da família Hominidae revelam as diversas adaptações pelas quais as mesmas passaram. Entendemos que os conceitos acerca do registro fóssil como evidência evolutiva e do carácter ramificado da filogenia foram transpostos de maneira aproximada ao conhecimento científico.

Após o texto são colocadas questões acerca do conteúdo do mesmo. Na questão 3, que questiona a importância do achado do fóssil *Lucy*, a resposta sugerida diz: “A importância desses fósseis está naquilo que podem revelar sobre a ancestralidade humana, reforçando a tese de que os seres humanos e os chimpanzés tiveram ancestrais comuns” (p. 65). No entanto, o *Australopithecus* não é ancestral comum de humanos e chimpanzés. Tanto o gênero *Australopithecus* quanto o gênero *Homo* se desenvolveram após a separação filogenética da linhagem da qual pertencem os chimpanzés modernos, e assim sendo as três espécies possuem um ancestral comum localizado na árvore filogenética. Os fósseis neste caso são colocados como evidência de uma ancestralidade incorreta. Contudo, embora tais distanciamentos apresentem

equívocos acerca da **filogenia** (CF) da família Hominidae e da maneira com que tais **fósseis** (Ev) contribuíram para a construção da mesma, não se constituem como obstáculos à compreensão do processo evolutivo como um todo.

Na etapa 5 encontramos um texto intitulado “Genética e evolução” (p. 73-74). O texto discorre sobre o uso da genética molecular no estudo da origem das populações humanas através do uso de marcadores genéticos no mapeamento da origem e distribuição geográfica da espécie humana no planeta. Ressalta-se que o estudo do DNA mitocondrial e da variabilidade do cromossomo Y de grupos humanos de diferentes origens geográficas revelou a procedência africana das primeiras linhagens consideradas humanas. Assim sendo, podemos entender que o texto se refere ao uso de **semelhanças moleculares** (Ev) como evidência do processo evolutivo de maneira aproximada ao conhecimento científico.

A presente situação de aprendizagem trouxe referências ao registro fóssil, pertinente à categoria das evidências evolutivas (Ev), e dentro dos conceitos fundamentais à filogenia e às semelhanças moleculares (CF) de maneira condizente ao estudo do processo evolutivo. Os distanciamentos encontrados à correlação incorreta da filogenia e achados fósseis dos hominídeos com a ancestralidade comum dos mesmos não se constituem como obstáculos à compreensão do conteúdo evolutivo, uma vez que podem resultar de descuidos na elaboração e revisão do conteúdo ou mesmo da transposição didática.

4.2.1.2.3. Situação de Aprendizagem 6 - A intervenção humana na evolução, as transformações nos ambientes e o futuro da espécie humana (SA6)

QUADRO 15: Conteúdos, temas, competências e habilidades indicados para a situação de aprendizagem 6.

Conteúdos e temas: processos de seleção animal e vegetal; impactos da transformação do ambiente e da adaptação das espécies animais e das plantas aos interesses da espécie humana; impactos da medicina, agricultura e farmacologia no aumento da expectativa de vida; o futuro da espécie humana.
Competências e habilidades: analisar situações e estabelecer relações que envolvam a interferência humana nos processos de seleção; analisar criticamente a relação homem-meio, em situações concretas, reconhecendo a espécie humana como parte integrante de um processo no qual ela é modificada pelo ambiente em que vive; reconhecer os impactos da intervenção humana na evolução dos campos da medicina, da agricultura e da farmacologia e a relação

com o aumento da esperança de vida.
Sugestão de estratégias: estudo de imagens e texto; discussão e pesquisa orientada.
Sugestão de recursos: textos e figuras do Caderno do Aluno.
Sugestão de avaliação: baseada na qualidade das manifestações, tanto orais quanto escritas, dos alunos sobre os temas abordados.

Fonte: São Paulo, 2014l, pg. 75.

QUADRO 16: Categorias de análise encontradas na situação de aprendizagem 6.

Categorias	
Referências históricas	X
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica	X
Evidências do processo evolutivo	X

A situação de aprendizagem 6 aborda a transformação do ambiente e intervenção humana na adaptação de animais, plantas e da própria espécie. Segundo o material, as atividades: “podem ser usadas para ajudar os estudantes a compreender a evolução como um processo contínuo em ação no mundo atual e que continuará a afetar os seres vivos” (p. 75).

Ao longo desta situação de aprendizagem são estudados temas relacionados à seleção artificial de organismos conforme as características desejadas pela espécie humana a fim de se obter vantagens nos campos da agricultura, farmacologia e medicina. Como exemplo são usadas a domesticação do milho e de cães, e as desvantagens que tal processo pode trazer. Como tais conceitos não fazem parte do escopo da presente investigação seu conteúdo não foi analisado.

Na etapa 2 há um quadro que expõe a problemática da tuberculose resistente à quase os tipos de medicamentos, causada por bactérias multirresistentes que foram selecionadas por conta do uso indevido (descontinuado) de antibióticos. São apresentadas questões relativas à doença e sua transmissão, e na questão 5 o caso é relacionado ao processo de seleção natural:

5. Retome os conceitos de seleção natural trabalhados anteriormente e procure explicar quais são as causas prováveis do aumento da resistência da tuberculose a medicamentos.

Com frequência, os médicos prescrevem antibióticos para seus pacientes, mas o uso inadequado pode selecionar bactérias resistentes. As que prevalecem se reproduzem e transmitem essa característica para as descendentes, sobre as quais aquele antibiótico não terá mais efeito (SÃO PAULO, 2014I, p. 81).

Consideramos que há aqui uma aproximação importante, posto que a seleção das bactérias mais resistentes à medicamentos impacta diretamente a sociedade atual, posto que a tuberculose é uma doença que pode levar à morte, e demonstra o processo evolutivo ocorrendo de maneira acelerada. Portanto o conceito de **seleção natural** (CF) pode ser novamente trabalhado através de um exemplo que pode estar presente na realidade dos alunos.

A **seleção natural** (CF) é novamente mencionada de maneira indireta com a seguinte afirmação encontrada da etapa 4: “... os fatores evolutivos atuam constantemente promovendo variações nas frequências gênicas...” (p. 82), sendo assim uma aproximação correta.

Ao final desta situação de aprendizagem há o texto “Evolução humana: fóssil fornece novas pistas sobre a origem da espécie” (p. 91-92), de onde destacamos o trecho a seguir:

As ideias de Darwin já eram escandalosas o suficiente para os padrões vitorianos da época. Por isso, ele quis evitar um confronto ainda maior com os dogmas religiosos, o que aconteceria se aplicasse sua teoria à espécie humana. [...] Darwin publicou *A descendência do homem* (1871), em que afirmava que nossos parentes mais próximos eram os gorilas e os chimpanzés, e que as provas seriam descobertas na África, continente habitado por diferentes espécies de primatas (SÃO PAULO, 2014I, p. 91).

Neste trecho há menção à maneira como **Darwin** (RH) divulgou suas teorias, uma referência ao que se mostra aproximada ao processo histórico de produção do conhecimento científico.

Em seguida, o texto relata a descoberta do **fóssil** (Ev) de um homínideo ainda não classificado que após a verificação de seus traços genéticos poderia ser inserido no gênero *Australopithecus* ou no gênero *Homo*. No primeiro caso, o fóssil poderia pertencer a uma espécie ancestral do ser humana, e no segundo à outra espécie do gênero *Homo* derivada de um mesmo ancestral comum. De todo modo, o texto ressalta que a descoberta pode acrescentar mais um ramo na árvore filogenética dos homínideos e auxiliar na compreensão científica acerca das

origens da espécie humana. Assim sendo, consideramos que a menção ao registro fóssil como evidência e instrumento de construção de árvores filogenéticas se deu de maneira aproximada ao entendimento da comunidade científica.

A presente situação de aprendizagem apresentou conceitos pertinentes às três categorias norteadoras desta investigação. Referências históricas (RH) foram encontradas em menção à maneira com que Darwin tratou da ancestralidade comum entre humanos e outros primatas, em citação classificada como aproximação. Entre os conceitos fundamentais (CF) a seleção natural foi citada também de modo aproximado ao conhecimento científico através de um exemplo contemporâneo de sua ocorrência. Finalmente, o registro fóssil foi colocado de maneira aproximada como evidência (Ev) do processo evolutivo que contribui para a construção da filogenia hominídea.

Todos os conceitos encontrados e analisados nesta situação de aprendizagem se apresentaram como aproximações em relação ao conhecimento científico acadêmico.

4.3. Análise geral

QUADRO 17: Categorias encontradas em cada situação de aprendizagem (SA).

Categorias	Situações de aprendizagem (SA)					
	SA 1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
Referências históricas (RH)		X	X	X		X
Conceitos fundamentais da Evolução Biológica (CF)		X	X	X	X	X
Evidências do processo evolutivo (Ev)	X	X	X	X	X	X

No que se refere à categorias “Referências históricas” (RH), seus elementos foram encontrados nas SA2, SA3, SA4 e SA6, sendo a SA2 e a SA3 as que apresentaram maior ocorrência de referências.

O processo evolutivo como entendido por Darwin é apresentado através de aproximações, e sua essência é mantida apesar das simplificações decorrentes da transposição didática. No entanto, os elementos que constituem sua teoria foram apresentados apenas através de um texto de divulgação científica, e não através de textos científicos escritos por autores que se dedicam ao estudo evolutivo. Embora tal explanação seja eficiente na medida em que os principais pontos das teorias de Darwin são corretamente apresentados, os mesmos não são posteriormente desenvolvidos ou discutidos. Wallace é mencionado como co-propositor da teoria evolutiva, embora o material afirme que o mesmo, juntamente a Darwin, é responsável pela base científica do entendimento do processo evolutivo, sem mencionar que na realidade as semelhanças nas proposições de ambos são relacionadas ao processo de seleção natural, sendo assim uma simplificação.

No entanto, ao discorrer sobre Lamarck, o material enfatiza as leis do uso e desuso e herança dos caracteres adquiridos, ignorando assim os pontos principais de sua teoria acerca da Evolução das espécies. Além disso, a dicotomia Darwin *versus* Lamarck é reforçada na medida em que suas teorias são postas em contraposição, representando assim uma incorreção grosseira amplamente replicada em materiais de ensino relativos à Evolução. Embora o material cite o fato de Lamarck ter apresentado seus postulados em um momento anterior à Darwin e Wallace, não esclarece que as observações do primeiro forneceram base teórica para o desenvolvimento posterior das teorias de Darwin e Wallace. Em uma passagem breve, o material lembra que as propostas de Darwin eram consideradas controversas em sua época por conta dos paradigmas religiosos, principalmente no que se refere à aplicação da mesma no processo evolutivo da espécie humana.

O paradigma fixista apareceu por duas vezes de maneira breve porém corretamente conceituado, embora sua localização histórica não tenha sido desenvolvida.

O desenvolvimento da teoria evolutiva no período pós-Darwin não foi apresentado, exceto pela informação de que a Evolução é entendida atualmente através do neodarwinismo,

que se constitui em uma junção das teorias de Darwin aos conhecimentos da genética evolutiva. Discussões posteriores ao estabelecimento da teoria sintética da Evolução, como o pontualismo, o neutralismo e o genocentrismo não são mencionados.

Assim sendo, concluímos que, embora as teoria darwinista tenha sido oferecida consonância como o entendimento acadêmico, se constituindo portanto em uma aproximação, alguns distanciamentos específicos foram encontrados. No entanto, o material prescinde de contextualização histórica abrangente e eficiente ao deixar de mencionar as particularidades do momento histórico nas esferas científica e social em que as teorias evolutivas foram inicialmente apresentadas de maneira consistente e posteriormente desenvolvidas. Ora, sendo a produção científica obrigatoriamente influenciadora e influenciada pelos contextos históricos de cada época, acreditamos que não é possível compreender o processo da Evolução Biológica integralmente sem que seu desenvolvimentos seja considerado. A ausência deste contexto não pode ser atribuída ao processo de transposição didática, tampouco à falhas na revisão do material, e, assim sendo, se constitui em um distanciamento potencialmente prejudicial à compreensão da Evolução Biológica como conhecimento científico.

No que se refere aos “Conceitos fundamentais da Evolução Biológica” (CF) à serem apreendidos para uma compreensão completa dos processos evolutivos, os tópicos integrantes desta categoria foram encontrados em todas as situações de aprendizagem, com exceção à SA1.

A **filogenia** foi conceituada de acordo com a literatura científica, embora tenha sido aplicada de maneira distanciada em alguns momentos. O conceito aparece principalmente no que se refere ao estudo da filogenia da espécie humana. No entanto, na SA1, a atividade proposta com o objetivo de evidenciar o modo e as dificuldades com os quais a filogenia é estudada se apresenta com um potencial obstáculo na compreensão da mesma, na medida que a exemplifica através da construção de uma árvore genealógica humana.

O **tempo geológico** se apresentou corretamente conceituado. No entanto, posto que o mesmo se constitui em um dos maiores obstáculos à compreensão do caráter gradual e extenso do processo evolutivo, acreditamos que sua presença careceu de exemplificações e discussões mais aprofundadas.

O processo da **cladogênese** foi apresentado apenas de maneira indireta, na SA2 e na SA3, através da conceituação e exemplificação do processo de especiação, ao apresentar árvores filogenéticas como resultado do surgimento de novos caracteres em populações diferentes de uma mesma espécie, até que estas se diferenciem em novas espécies. No entanto, a especiação é apresentada de maneira aproximada ao ser colocada como responsável pela diversidade das espécies, sem contudo ser esclarecido que a mesma se constitui em um mecanismo através do qual o processo de cladogênese acontece.

O processo da **anagênese** não foi encontrado ao longo das situações de aprendizagem.

Já o conceito de **especiação geográfica** foi oferecido na SA2, ao longo da explanação acerca do processo de especiação, evidenciando de maneira aproximada que a mesma resulta da separação de duas populações por conta de barreiras geográficas.

O conceito de **seleção natural** foi encontrado ao longo das SA2, SA3, SA4 e SA6, sendo o conceito trabalhado de maneira mais detalhada e aprofundada. Na SA2 há uma atividade que consideramos bastante adequada, na medida em que oferece um exemplo prático da ocorrência da seleção natural em uma população animal, e estimula a compreensão de seu funcionamento de maneira simples porém eficiente. Além disso, em diversos momentos são oferecidas explicações detalhadas de seu funcionamento. No entanto, em dado momento o material oferece de maneira confusa uma explicação acerca dos mecanismos que alimentam o processo de seleção. Na SA6 há uma atividade onde o processo seletivo é exemplificado, desta vez relacionado a ocorrência da mesma por conta da ação humana em populações de bactérias.

A **deriva genética** ou gênica foi encontrada apenas na SA2, conceituada através de um distanciamento, posto que seu caráter aleatório foi colocado de maneira associada a eventos pontuais.

O **fluxo gênico** também aparece apenas na SA2, definido de maneira aproximada à literatura de referência. Da mesma forma, o conceito de **mutação** foi oferecido apenas na SA2, de maneira condizente à literatura, assim como o conceito de **recombinação genética**.

Os conceitos de **genótipo** e **fenótipo** não foram descritos neste material. No entanto, os mesmos já haviam sido trabalhado nos volumes 1 (2014i) e volume 2 (2014j) referentes à 2ª série

do Ensino Médio, portanto podemos inferir que tais conceitos já haviam sido estudados e compreendidos pelos alunos.

É importante ressaltar que os mecanismos de especiação geográfica, deriva genética, fluxo gênico, mutação e recombinação genética se concentraram apenas na SA2, condicionados à realização de uma atividade (“Evolução dos palitos”, SÃO PAULO 2014l, p. 32) cuja eficiência é discutível na medida de que trata o processo de especiação de maneira inadequada e confusa. O conceito de anagênese não foi apresentado. Além disso, o processo de cladogênese aparece apenas através da descrição dos eventos de especiação, que, embora seja seu mecanismo, não se constitui como conceituação adequada do mesmo.

Apenas o conceito de seleção natural foi amplamente trabalhado, posto que a mesma se constitui em um dos mecanismos responsáveis pelo processo evolutivo. No entanto, consideramos que não foi apresentada da maneira clara a informação de que a Evolução se dá através de três mecanismos, a saber, seleção natural, deriva genética e fluxo gênico. Além disso, em dado momento, a seleção natural é colocada como uma das responsáveis pelas diferenças genéticas de uma população, conjuntamente ao processos de recombinação gênica e mutação. No entanto, é sobre a as diferenças causadas por ambos que a seleção natural atua. Assim sendo, consideramos que este equívoco dificulta a compreensão clara acerca dos mecanismos que em conjunto são responsáveis pela Evolução Biológica.

A categoria “Evidências do processo evolutivo” (Ev) foi a única encontrada ao longo de todas as seis SA do material.

A **homologia** foi conceituada de maneira condizente ao conhecimento científico, tendo sido observado apenas um pequeno distanciamento não prejudicial relativo à origem dos caracteres homólogos. Dois exemplos de sua ocorrência foram apresentados acertadamente de modo a ilustrar seu conceito, e na SA3 sua importância como evidência o processo evolutivo foi salientada.

As **semelhanças moleculares** aparecem de modo a confirmar a ancestralidade comum das espécies vivas, e o conceito também é situado como evidência importante da ocorrência da Evolução. É ressaltado que as semelhanças entre o código genético humano e o dos chimpanzés

atesta a ancestralidade comum das duas espécies. Assim sendo, consideramos que o conceito foi oferecido de maneira adequada.

Não foram encontradas menções às **semelhanças embrionárias** entre as espécies como evidência do processo evolutivo.

O conceito de **analogia**, ou convergência evolutiva, foi encontrado apenas na SA2 de maneira condizente ao conhecimento científico.

Embora tanto a SA1 quanto a SA2 afirmem em seus quadros iniciais que ao final das mesmas o aluno deve ser capaz de identificar as evidências do processo evolutivo, incluindo a presença de **órgãos vestigiais**, o conceito não foi encontrado em nenhum momento do material.

O **registro fóssil** foi citado em todas as SA, excetuando-se a SA4. Na medida que a paleontologia se constitui como a principal categoria de evidências da ocorrência da Evolução Biológica, consideramos que a ênfase dispensada à mesma no material não só se justifica, mas também é de grande importância para que o aluno compreenda que a Evolução não se encontra no campo das hipóteses, mas sim é reconhecida academicamente como uma realidade factual. A importância do registro fóssil como ferramenta de estudos evolutivos e também como evidência de sua ocorrência foi ressaltada em diversos momentos, inclusive através de textos relativos a achados paleontológicos de fósseis de dinossauros, bem como de fósseis de espécies de homínídeos que integram a árvore filogenética humana. Apenas na AS1 o registro fóssil é equivocadamente colocado como evidência da origem molecular da vida, e não da diversidade das espécies. Assim sendo, consideramos que tal categoria de evidências foi adequadamente oferecida de modo aproximado ao conhecimento científico mesmo após a transposição didática.

Quanto à **biogeografia**, na SA3 a importância do estudo acerca da distribuição geográfica das espécies é mencionada, porém não justificada.

Assim sendo, concluímos que o registro fóssil foi a categoria de evidências do processo evolutivo discutido de maneira mais ampla e aprofundada, através de diversas aproximações e exemplos. Os caracteres homólogos e as semelhanças moleculares também foram oferecidos de maneira que consideramos adequada. A biogeografia apareceu apenas de maneira pontual e sem ser conceituada. A convergência evolutiva ou analogia contou apenas com uma breve conceituação, sem que fossem oferecidos exemplos de sua ocorrência. Já as semelhanças

embrionárias e estruturas vestigiais não foram citadas como evidência do processo evolutivo. Isso posto, entendemos que, de um modo geral, o material se mostrou eficiente em atestar a ocorrência da Evolução Biológica aos alunos, ainda que nem todas as suas categorias tenham sido citadas.

De maneira geral, o conteúdo relativo à Evolução Biológica encontrado no Caderno do Professor, 3ª série, volume 2 (SÃO PAULO, 2014I), se mostrou alinhado ao conhecimento científico de referência, no que concerne os elementos pertencentes às categorias norteadoras da presente análise. Tal constatação se mostra consistente com a posição do material, posto que, por ser voltado ao Ensino Médio, entende-se que há uma menor necessidade de transposição didática de seus conteúdos.

No entanto, as aproximações foram apresentadas em sua maioria de caráter pontual, isto é, os conceitos foram oferecidos de maneira adequada, mas com pouco ou nenhum desenvolvimento posterior que auxiliasse os alunos na familiarização em relação aos mesmos, ou ainda através de atividades isoladas e nem sempre adequadas.

Os distanciamentos encontrados foram em sua maioria neutros à compreensão dos conceitos evolutivos, ou potencialmente prejudiciais apenas à compreensão de conhecimentos pontuais. Assim sendo, entendemos que tais distanciamentos se justificam pelo processo de transposição didática, ou mesmo falhas na elaboração ou revisão do material.

Os distanciamentos potencialmente prejudiciais à compreensão do conteúdo evolutivo como um todo se encontraram nos contextos históricos, por conta da falta de contextualização social e científica das etapas do desenvolvimento do pensamento evolutivo, e também acerca da localização do mecanismo de seleção natural dentro do processo evolutivo, posto que em dado momento o mesmo foi situado entre os mecanismos sobre os quais atua. Além disso, não foi colocado de maneira inequívoca que a Evolução Biológica ocorre por conta dos processos de seleção natural, deriva genética e fluxo gênico.

É importante salientar que diversos tópicos relativos à categoria “Conhecimentos fundamentais da Evolução Biológica” (CF) se concentraram na SA2.

Observamos também que por diversas vezes os conceitos foram oferecidos apenas nas orientações didático-pedagógicas disponibilizadas aos professores, não constando no Caderno do Aluno correspondente (SÃO PAULO, 2014f). Assim sendo, por diversas vezes o conteúdo é apresentado ao aluno de modo simplificado e superficial, apenas através da leitura de textos não científicos, atividades dispersas e questionários. Embora certas atividades, como “O caso do tentilhões” (SÃO PAULO, 2014l, p. 27-28) se mostrem adequadas na medida em que trazem os conceitos para um contexto prático de maneira eficiente e condizente ao conhecimento científico, outras, como a “Evolução dos palitos” (SÃO PAULO, 2014l, p. 32), podem dificultar ou mesmo impedir a compreensão de diversos conceitos pertinentes ao processo evolutivo. Assim sendo, entendemos que recai sobre o professor a tarefa de superar as deficiências do material de maneira que o conteúdo possa ser apreendido pelos alunos de modo eficiente, fato este que não se constituiria em um obstáculo, posto que é parte da função de educador, caso os professores de Biologia não apresentassem dificuldades conceituais em relação ao conteúdo evolutivo (TIDON e LEWONTIN, 2004; SILVA, ANDRADE e CALDEIRA, 2010; OLESQUES, SANTOS e BOER, 2011; SILVA, FRANZOLIN e BIZZO, 2016; CARNEIRO e ROSA, 2003).

Finalmente, entendemos que nenhum dos distanciamentos encontrados se constitui em um erro conceitual, na medida que nenhum deles apresentou as condições necessárias para ser classificado como tal.

Embora a discussão acerca do objeto de estudo da Evolução Biológica não faça parte das categorias de análise da presente dissertação, gostaríamos apontar o momento da SA1 em que um equívoco relativo à este tópico foi encontrado. Como sensibilização, a SA1 chama a atenção para a enorme diversidade de seres vivos encontrados atualmente no planeta Terra, e questiona a origem dessa diversidade, pretendendo assim iniciar uma discussão acerca da origem da vida. É fato que as primeiras indagações a respeito da diversidade do mundo vivo conduziram a ciência ao desenvolvimento do pensamento evolutivo. No entanto, como discorre Oliveira (2011), a origem da vida e a diversidade das espécies são temas distintos, embora próximos, e são percebidos de maneira diferente dentro da comunidade científica. A Evolução Biológica é entendida pela ciência como uma verdade estabelecida, dado que se baseia em dois séculos de

acúmulo de estudos e evidências que se corroboram entre si, sendo assim consenso entre os cientistas, ao passo que a questão da origem da vida ainda se encontra no campo das hipóteses. Embora os modelos propostos, a saber, principalmente a hipótese de Oparin-Haldane, ou hipótese da evolução gradual dos sistemas químicos, sejam devidamente fundamentados em pressupostos científicos, ainda carecem de uma confirmação experimental que possa ser considerada determinante (Mayr, 2009). Em todo caso, para Gould (1997), conjecturas acerca da origem da vida na Terra fogem ao escopo da Evolução Biológica, posto que seu principal objetivo é elucidar os processos que culminam na diversidade de seres vivos através da compreensão da história evolutiva. A falta de clareza acerca do objeto de estudo da Evolução Biológica, ou seja, a falsa percepção de que a Evolução Biológica procura explicar a origem da vida é um traço amplamente encontrado entre professores de Biologia, como constatado por Carneiro e Rosa (2003). As autoras argumentam que tal incorreção pode ser induzida ao entendimento de alunos e professores por conta da abordagem dos livros didáticos a respeito do tema, posto que é frequente que os mesmos iniciem os estudos evolutivos através de conjecturas acerca da origem da vida, como é o caso do presente material. Assim sendo, pensamos que a falta de clareza acerca do objeto de estudo da Evolução Biológica pode se constituir em um obstáculo considerável à apreensão do conteúdo evolutivo.

Ainda dentro das discussões acerca da origem da vida levantadas na SA1 são apresentadas e examinadas duas “explicações” diferentes para a origem dos seres vivos. Uma delas, de natureza científica, é a chamada “teoria da sopa orgânica” (p. 11), ou hipótese de Oparin-Haldane, que, embora ainda se situe no campo das suposições, como explanado acima, de fato é objeto de estudos científicos. No entanto, a segunda explicação oferecida chama a atenção por ser de cunho religioso, e portanto criacionista. Para tanto, é apresentado um trecho da bíblia sagrada cristã relativo à criação do mundo por uma entidade divina (p. 11). Questionamos fortemente a presença de conteúdo de natureza religiosa, uma vez que o material se refere ao estudo da Biologia e portanto de escopo exclusivamente científico. Ainda que atualmente as questões religiosas façam parte do contexto social de muitos dos alunos do ensino médio, pensamos a presença e equiparação de uma hipótese científica e um dogma religioso no material educacional relativo à Biologia pode fomentar o equívoco de que o criacionismo de

algum modo faz parte do repertório do estudo biológico, de que a ciência percebe a gênese criacionista como uma possibilidade, ou mesmo de que ciência percebe as duas explicações como equivalentes. À título de exemplo da sugestão de equivalência, destacamos a frase “O fato de a concepção religiosa não poder ser testada em laboratório não a desqualifica, apenas reforça a diferença que existe entre elas [as visões criacionista e científica]” (p. 10). Ora, se o fazer científico se apóia obrigatoriamente em hipóteses e inferências que podem ser direta ou indiretamente verificadas através de múltiplas evidências e dados que se corroboram entre si e são consenso entre a comunidade científica, entendemos que uma visão criacionista do mundo, que carece de tal metodologia, foge completamente ao escopo dos estudos biológicos e sua presença neste material é inequivocamente inadequada. Embora a presença de conteúdo religioso não se repita nas demais situações de aprendizagem, é através dele que o semestre dedicado aos estudos evolutivos se inicia, e sendo a compreensão destes estudos de fundamental importância para a entendimento do conceito da Evolução Biológica, o estímulo ao equívoco em relação à natureza dos estudos científicos pode gerar consequências deste ponto em diante e se transformar em um obstáculo significativo à aprendizagem plena dos conteúdos biológicos.

A partir da análise do presente material, consideramos que o ensino da Evolução Biológica não pode prescindir de uma contextualização histórica consistente e que abarque de não apenas o momento em que Darwin uniu o conhecimento científico produzido até então às suas observações e apresentou sua teoria evolutiva, mas também os períodos anteriores e posteriores relativos ao desenvolvimento do pensamento evolutivo. É imprescindível que a dicotomia Darwin *versus* Lamarck seja superada, e Lamarck seja apresentado como um naturalista que desempenhou um papel fundamental para o desenvolvimento e entendimento do mecanismo da Evolução Biológica. O pensamento evolutivo deve ser apresentado como um processo continuado onde, ao longo de séculos, diversos naturalistas se empenharam na proposição de teorias, levantamento de evidências, refutação e reinterpretação de dados e exploração de novas perspectivas. É importante também que as discussões realizadas nas últimas décadas façam parte do ensino da Evolução, a fim de enfatizar o caráter dinâmico não só da ciência evolutiva mas da ciência como um todo.

Acreditamos também que os conteúdos que integram o conceito da Evolução Biológica devem ser oferecidos de maneira textual no contexto educacional, de modo a não deixar dúvidas acerca de suas definições, e posteriormente desenvolvidos através de exemplos situados na realidade do mundo vivo e atividades adequadas que clarifiquem a Evolução e seus mecanismos. Pensamos que é fundamental que a Evolução seja compreendida como resultado de uma conjunção de processos, e que cada um deles seja corretamente explanado.

CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS

É indiscutível a importância da Evolução Biológica como conceito que permeia e une todas as áreas do conhecimento biológico, sendo assim sua apreensão imprescindível no nível não apenas no nível da educação formal, mas também para uma formação cidadã plena de nossa população. Não só o entendimento da Biologia como ciência depende disso, mas a compreensão do caráter evolutivo intrínseco das formas de vida de nosso planeta é essencial para que nossos cidadãos estejam habilitados a participar de processos sociais que envolvam conhecimentos biológicos e afetem diretamente suas vidas e a vida da sociedade como um todo.

Assim sendo, impulsionada pelo entendimento descrito acima, a presente dissertação se dispôs a investigar a maneira com que o conceito de Evolução Biológica tem sido oferecido à população do Estado de São Paulo no contexto educacional de nível médio, não apenas de modo a verificar sua exatidão em relação ao conhecimento científico atual, mas também considerando a forma com que tais conhecimentos são transpostos de modo a promover o ensino dos mesmos de maneira eficaz e completa.

Ainda que as aproximações entre o saber científico e o saber a ser ensinado tenham aparecido com maior frequência no material analisado, é importante ressaltar que por diversas vezes os conceitos, embora oferecidos corretamente em seu conteúdo, prescindiram de contextualização e desenvolvimento posterior de modo a propiciar ao aluno a consolidação dos conhecimentos relativos à Evolução. É fato que os distanciamentos encontrados se mostraram predominantemente pontuais, sendo estes potencialmente não prejudiciais à compreensão do processo evolutivo de maneira geral. No entanto, pensamos que a ausência de contextualização histórica do processo de desenvolvimento do pensamento evolutivo pode se constituir em um grave entrave para a apreensão dos mesmos pelos alunos, sendo assim prejudicial não apenas no contexto educacional, mas também para a formação intelectual do aluno. Ademais, a falta de clareza acerca do objeto de estudo da ciência evolutiva, e também acerca das funções de cada mecanismo de seleção e adaptação dentro do processo evolutivo podem ser igualmente prejudiciais.

A partir dos resultados encontrados pela presente dissertação, entendemos a precisão dos conceitos científicos oferecidos e a forma com que a transposição dos mesmos é realizada são igualmente dignas de atenção especial e carecem de um olhar minucioso e abrangente daqueles que o desenvolvem.

Sendo o material educacional oferecido pelo Estado encarregado da educação da maior parcela da população brasileira, pensamos que as avaliações governamentais acerca do mesmo devem ser constantes e meticulosas tendo em vista sua atualização, correção e melhoramento. É importante salientar que esta investigação pretende, a partir de suas críticas em relação à elaboração e conteúdo do material analisado, propor reflexões acerca da construção do mesmo e subsidiar possíveis reformulações futuras, bem como o desenvolvimento de outros materiais didáticos, além de auxiliar outras investigações semelhantes relativas à conteúdos biológicos diversos.

Entendemos que o material analisado se constitui como ferramenta de apoio ao professor, sendo ele livre para expandir os conteúdos de acordo com seu conhecimento e escolhas pessoais. No entanto, a Evolução Biológica é um conceito que se mostra desafiador ao processo de ensino tanto do aluno quanto do professor, e assim sendo, consideramos que um material eficiente e completo é indispensável e de grande valia para o contexto educacional como um todo.

A presente dissertação se propôs a investigar como o conteúdo relativo à Evolução Biológica é oferecido aos alunos da Rede de Ensino do Estado de São Paulo. A partir dos resultados encontrados, um novo questionamento se desvela: como tal conteúdo *deveria* ser oferecido? Quais aprimoramentos e modificações contribuíram para um ensino mais completo e pleno da Evolução Biológica no contexto estadual? Acreditamos que estas questões podem servir como fundamento para investigações futuras.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C; BONZANINI, T. K. **A proposta curricular do estado de São Paulo e os instrumentos de ensino: análise das atividades e recursos apresentados.** Anais dos II Congresso Nacional de Formação de Professores (CNFP) e XII Congresso Estadual Paulista sobre Formação de Educadores (CEPFE). Águas de Lindóia, 2014.

ALMEIDA, J. R.; BRANCALLEÃO, N.; BONZANINI, T. K. **O ensino de biologia e o currículo oficial do estado de São Paulo: uma análise crítica.** Revista da SBEnBio, n. 7, 2014.

AZEVEDO, R. C.; MOTOKANE, M. T. **A evolução nos livros didáticos do ensino fundamental aprovados pelo MEC: uma reflexão a partir da análise de duas coleções.** VIII ENPEC - VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP, 2011.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 1977.

BASTOS, F.; NARDI, R.; DINIZ, R.E.S.; CALDEIRA, A.M.A. **Da necessidade de uma pluralidade de interpretações acerca do processo de ensino e aprendizagem de Ciências: revisitando os debates sobre construtivismo.** In: BASTOS, F.; NARDI, R.; DINIZ, R.E.S. (Orgs.). Pesquisas em ensino de ciências: Contribuições para a formação de professores. São Paulo, Escrituras, p. 9-55, 2004.

BELLINI, L. M. **Avaliação do conceito de Evolução nos livros didáticos.** Estudos em Avaliação Educacional, v. 17, n. 33, 2006.

BIZZO, N. **Mais Ciência no Ensino Fundamental: metodologia de ensino em foco.** São Paulo: Editora do Brasil, 2009.

BIZZO, N.; ALMEIDA, A. V.; FALCÃO, J. T. R. **A compreensão de estudantes dos modelos de Evolução Biológica**: duas aproximações. Em: E.F. Mortimer, (Ed.), Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis: ABRAPEC, 2007.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.

BRASIL. **Orientações curriculares para o Ensino Médio**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Básica. Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Ministério da Educação, Brasília, 2006.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)**: Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Ministério da Educação, Brasília, 2000.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**: Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Ministério da Educação, Brasília, 2002.

CARNEIRO, A. P. N.; ROSA, V. L. **“Três aspectos da Evolução” - Concepções sobre Evolução Biológica em textos produzidos por professores a partir de um artigo de Stephen Jay Gould**. In: Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC). Bauru: ABRAPEC, 2003.

CARVALHO, G.S. **A transposição didática e o ensino da Biologia**. In: CALDEIRA, A.M.A.; ARAÚJO, E.S.N.N. (Orgs.) Introdução à Didática da Biologia (p. 34-57). São Paulo: Escrituras, 2009.

CARVALHO, I. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. **Como selecionar conteúdos de Biologia para o Ensino Médio?** Revista de Educação, Ciências e Matemática, v.1, n.1, 2011.

CASTRO, N. B. L.; AUGUSTO, T. G. S. **Análise dos trabalhos sobre ensino de Evolução Biológica publicados nos Anais do VI ENPEC.** In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - VII ENPEC. Florianópolis, 2009.

CHARLESWORTH, B. CHARLESWORTH, D. **Evolução.** Porto Alegre: L&PM, 2012.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del Saber Sabio al Saber Enseñado.** Argentina: Editora Aique, 1997.

CICILLINI, G. A. **A Evolução enquanto um componente metodológico para o ensino de Biologia no 2º grau.** Educação e Filosofia, 7 (14), p. 17-37. Uberlândia, 1993.

DALAPICOLLA, J.; SILVA, V. A.; GARCIA, J. F. M. **Evolução Biológica como eixo integrador da Biologia em livros didáticos do Ensino Médio.** Revista Ensaio, v. 17, n.1. Belo Horizonte, 2015.

DARWIN, C. **A origem das espécies.** São Paulo: Editora Martin Claret Ltda., 2004.

DAWKINS, C. R. **O gene egoísta.** São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

DIAS, F. M. G.; BORTOLOZZI, J. **Como a Evolução Biológica é tratada nos livros didáticos do Ensino Médio.** In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - VII ENPEC. Florianópolis, 2009.

EL-HANI, C. N.; ROQUE, N.; ROCHA, P. L. B. **Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio: Resultados do PNLEM/2007**. Educação em Revista (UFMG. Impresso), Vol. 27, núm. 1, pág. 211-240, 2011.

ENRIONE, M. J. B.; GOMES, C. G. S.; PRADO, M.; SILVA, A. F. G. **Análise crítica sobre a visão idealista no conteúdo de evolução em livros didáticos**. VIII ENPEC - VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP, 2011

FARIA, R. C. B.; COMPIANI, M. **Uma análise dos livros didáticos de Biologia: dimensão horizontal e vertical sobre a divisão dos conteúdos**. Atas do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC. Águas de Lindóia, 2015.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise do conteúdo**. Brasília: Editora Liber Livro, 2008.

FRANZOLIN, F.; BIZZO, N. **Conceitos básicos de Genética dos livros didáticos e na literatura de referência: aproximações e distanciamentos**. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências - IX ENPEC. Águas de Lindóia, 2013.

FRANZOLIN, F.; BIZZO, N. **Conceitos de Biologia em livros didáticos de Educação Básica e na academia: uma metodologia de análise**. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - VI ENPEC. Florianópolis, 2007.

FRISON, M. D.; VIANNA, J.; CHAVES, J. M.; BERNARDI, F. M. **Livro didático como instrumento de apoio para construção de propostas de ensino de ciência naturais**. Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências - VII ENPEC. Florianópolis, 2009.

FUTUYMA, D. J. **Biologia Evolutiva**. Ribeirão Preto, SP, Sociedade Brasileira de Genética/CNPq, 1997.

FUTUYMA, D. J. **Evolution**. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 2005.

FUTUYMA, D. J. **Evolução, Ciência e Sociedade**. Edição exclusiva do 48º Congresso Nacional de Genética. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 2002. Disponível em:

<http://www.sbg.org.br/ebook/Novo/ebook_evolucao.pdf>. Acesso em: 08/10/2014.

GOEDERT, L.; DELIZOICOV, N. C.; ROSA, V. L. **A formação de professores de Biologia e a prática docente - O ensino de Evolução**. In: Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências IV - ENPEC. Bauru, 2003.

GOULD, S. J. **Lance de dados: a idéia de evolução de Platão a Darwin**. Rio de Janeiro: Record, 2001.

GOULD, S. J. **Os três aspectos da Evolução**. In: BROCKMAN, J.; MATSON, K. As coisas são assim: pequeno repertório científico do mundo que nos cerca. São Paulo: Companhia da Letras, 1997.

KAWASAKI, C. S.; EL-HANI, C. N. **Uma Análise das Definições de Vida Encontradas em Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio**. In: Anais do VIII ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA. São Paulo, 2002.

KRASILCHIK, M. **Formação de professores para o Ensino Médio**. Data desconhecida [20--]. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/60ra/textos/MR-MyriamKrasilchik.pdf>> Acesso em: 02/20/2016.

KRASILCHIK, M. **Reformas e realidade**: o caso do ensino das ciências. Revista São Paulo em Perspectiva. v. 01, n. 14, p. 85-93, 2000.

KRASILCHIK, M. **Práticas de ensino de Biologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

LOPES, A. C. **Políticas de integração curricular**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2008.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: E.P.U., 1986.

MAYR, E. **O Desenvolvimento do Pensamento Biológico**. Brasília: Ed. UNB, 1998.

MAYR, E. **O que é Evolução?** Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

MAYR, E. **What is a species, and what is not?** Philosophy of Science, 63, pp. 262-277. June, 1996.

MEDRADO, F. S.; SELLES, S. L. E. **Justificativas para a inserção de conteúdos de Evolução em livros didáticos de Biologia**. X ENPEC - X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP, 2015.

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

MIANUTTI, J.; BASTOS, F. A **Evolução Biológica no Ensino Médio: análise de uma coleção didática a partir dos estudos sobre a organização do trabalho didático**. VIII ENPEC - VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP, 2011.

NETO, J. M & FRACALANZA, H. **O Livro Didático de Ciências: Problemas e Soluções**. Ciência & Educação. V.9, n.2, p.147-157, 2003.

OLESQUES, L. C.; SANTOS, M. L. B.; BOER, N. **Evolução Biológica: percepções de professores de Biologia**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. Vol 10, No 2, 243-263, 2011.

OLIVEIRA, M. C. A. **Aspectos da pesquisa acadêmica brasileira sobre o ensino dos temas ‘origem da vida’ e ‘Evolução Biológica’**. Florianópolis, 2011.

PAZZA, R.; PENTEADO, P.R.; KAVALCO, K.F. **Misconceptions About Evolution in Brazilian Freshmen Students**. Evolution, Education and Outreach 3: 107-113, 2010.

PIN, J. R. O.; CANICALI, M. A. F.; ALMEIDA, R. C.; MATTOS, L.; AMORIM JUNIOR, I. A.; CAMPOS, C. R. P.; AMADO, M. V. **Análise da abordagem do conteúdo de evolução humana sob aspectos biológico, social e cultural em três coleções de livros didáticos de ciências do ensino fundamental**. IX ENPEC - IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP, 2013.

RIDLEY, M. **Evolução**. 3 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2006.

ROCHA, P. L. B.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, A. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.; OLIVEIRA, E. S.; ASSIS, J. G. A.; FREGONEZE, J.; QUEIROZ, L. P.; CARVALHO, L. M.; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R. B.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H.; ROSA, V. L.; EL-HANI, C. N. **Brazilian High School Biology textbooks: main conceptual problems in Evolution and Biological diversity**. 2007. Disponível em: <https://www.academia.edu/506366/Brazilian_high_school_biology_textbooks_main_conceptual_problems_in_evolution_and_biological_diversity>. Acesso em: 04 de outubro de 2016.

RODRIGUES, R. M. A.; OLIVEIRA, D. H. Abordagem do tema teorias evolutivas nos livros didáticos de Biologia do Ensino Médio. In: Atas do II CONEDU - Congresso Nacional de Educação. Campina Grande - PB, 2015.

SADAVA, D.; HELLER, C.; ORIAN, G.; PURVES, B.; HILLIS, D. **Vida: a ciência da Biologia**. Volume 2, Evolução, diversidade e ecologia. 8ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SÃO PAULO (Estado). **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Biologia**. Ensino Médio. São Paulo: SEE, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias**. São Paulo: SEE, 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Aluno: Biologia, Ensino Médio – 1ª série, volume 1**. São Paulo: SEE-SP, 2014a.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Aluno: Biologia, Ensino Médio – 1ª série, volume 2**. São Paulo: SEE-SP, 2014b.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Aluno: Biologia, Ensino Médio – 2ª série, volume 1**. São Paulo: SEE-SP, 2014c.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Aluno: Biologia, Ensino Médio – 2ª série, volume 2**. São Paulo: SEE-SP, 2014d.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Aluno: Biologia, Ensino Médio – 3ª série, volume 1**. São Paulo: SEE-SP, 2014e.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Aluno: Biologia, Ensino Médio** – 3a série, volume 2. São Paulo: SEE-SP, 2014f.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Professor: Biologia, Ensino Médio** – 1a série, volume 1. São Paulo: SEE-SP, 2014g.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Professor: Biologia, Ensino Médio** – 1a série, volume 2. São Paulo: SEE-SP, 2014h.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Professor: Biologia, Ensino Médio** – 2a série, volume 1. São Paulo: SEE-SP, 2014i.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Professor: Biologia, Ensino Médio** – 2a série, volume 2. São Paulo: SEE-SP, 2014j.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Professor: Biologia, Ensino Médio** – 3a série, volume 1. São Paulo: SEE-SP, 2014k.

SÃO PAULO (Estado). **Caderno do Professor: Biologia, Ensino Médio** – 3a série, volume 2. São Paulo: SEE-SP, 2014l.

SILVA, P. R.; ANDRADE, M. A. B. S.; CALDEIRA, A. M. A. **Concepções de professores de Biologia a respeito da diversidade dos seres vivos**: uma análise, considerando o desenvolvimento histórico das ideias evolucionistas. In: BASTOS, F. (org.) **Ensino de ciências e matemática III: contribuições da pesquisa acadêmica a partir de múltiplas perspectivas** [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/3nwyv/pdf/bastos-9788579830860-08.pdf>. Acesso em: 17/08/2014.

SILVA, A. P. Z.; FRANZOLIN, F.; BIZZO, N. **Concepções de genética e evolução e seu impacto na prática docente no Ensino Médio de Biologia.** Genética na Escola, volume 11, número 1, 2016.

SILVA, M. G. B.; SILVA, R. M. L.; TEIXEIRA, P. M. M. **A Evolução Biológica na formação de professores de Biologia.** In: Enpec, Campinas. Anais, 2011. v. VIII.

SIGANSKI, B. P.; FRISON, M. D.; BOFF, E. T. O. **O livro didático e o ensino de ciências.** Atas do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química - XIV ENEQ. Curitiba, 2008.

TIDON, R.; LEWONTIN, R. C. **Teaching evolutionary biology.** Genetics and Molecular Biology, 27, 1, 124–31, 2004.

TOMASSI, H. Z.; ALMEIDA, C. M. **O que é fóssil? Diferentes conceitos na Paleontologia.** In: Atas do XXII Congresso Brasileiro de Paleontologia, Natal, 2011.

VASCONCELOS, S. D & SOUTO, E. **O livro didático de ciências no ensino fundamental - proposta de critério para análise do conteúdo zoológico.** Ciência & Educação. V. 9, n. 1, p. 93-104, 2003.

ZAMBERLAN, E. S. J.; SILVA, M. R. **A evolução como idéia reguladora da Biologia e sua apreensão em livros didáticos de Biologia.** Anais do II Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia. Ponta Grossa, 2010.