UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

EDUARDO PESSONIA MOLINA CORTEZ

**Descobrimos a seleção natural: uma proposta de ensino
baseada na história da ciência**

SÃO PAULO
2018

EDUARDO PESSONIA MOLINA CORTEZ

**Descobrimos a seleção natural: uma proposta de ensino
baseada na história da ciência**

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja
o Programa de Pós-graduação)

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação Interunidades em
Ensino de Ciências da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ensino de Ciências

Área de Concentração:
Ensino de Biologia

Orientadora: Profa. Dra.
Maria Elice Brzezinski Prestes

SÃO PAULO

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Cortez, Eduardo Pessonina Molina

Descobrimdo a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência. São Paulo, 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes
Área de Concentração: Ensino de Biologia

Unitermos: 1. Biologia - Estudo e ensino; 2. Educação - Ensino; 3. Ciência - História da ciência; 4. Biologia - Evolução.

USP/IF/SBI-011/2018

Nome: CORTEZ, Eduardo Pessonina Molina

Título: Descobrimdo a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências

Aprovada em:

Banca examinadora:

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Agradecimentos

Esta dissertação é evidência daquilo que mais se desejou que os alunos participantes desta pesquisa aprendessem: a ciência é um empreendimento coletivo. Assim sendo, este trabalho não poderia ter sido realizado sem a presença de colaboração de muitas pessoas. Agradeço, portanto:

Aos meus pais, Cleide Pessonnia Cortez e Raul da Silva Cortez, que sempre me incentivaram a estudar e me ensinaram a gostar de aprender.

À minha irmã, Camilla Pessonnia Cortez, pelo interesse e pela disposição em discutir assuntos relacionados à Educação.

À minha amada esposa, Mariana Carvalho Molina Cortez, pelo incentivo constante, pela preocupação compartilhada sobre o andamento deste trabalho e pela imensa paciência com as horas a fio que dediquei à produção desta dissertação, muitas vezes sacrificando passeios e viagens.

À Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes, pela orientação atenciosa, pelos valerosos conselhos de escrita, pelos ensinamentos sobre história e historiografia da ciência e pela confiança depositada neste projeto.

Ao Prof. Dr. Nelio Bizzo, que acompanhou de perto a construção desta pesquisa ao longo das disciplinas cursadas e da qualificação e sempre forneceu novos *insights* a respeito de Darwin.

À Profa. Dra. Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, cuja obra e ensinamentos pessoais ao longo de disciplinas e da qualificação inspiraram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Douglas Allchin, que muito me ensinou a respeito de natureza da ciência por meio de exemplos práticos e de nosso trabalho em conjunto.

Aos colegas do Laboratório de História da Ciência e Ensino – Carolina Perozzi Tina, Christine Janczur, Filipe Faria Berçot, Gerda Máisa Jensen, Giuliana Carrieri Natália Abdalla Martins, Luana Beatriz Xavier Nunes, Luciana Valéria Nogueira (Lua), Rosa Andrea Lopes de Souza, Tatiana Tavares da Silva, Tatiane Braga Afonso e Victor da Rocha Piotto, com quem muito aprendi ao longo desses três anos e que muito me inspiraram e incentivaram. Desejo a todos vocês muito sucesso.

Ao grande amigo Antonio Carlos do Nascimento Neto, que seguiu de perto o desenvolvimento desta pesquisa desde a fase de projeto e com quem sempre tenho muito a aprender a respeito da relação entre jogos, motivação e educação.

Às minhas amigas e colegas de profissão Andrea Christiane Martins, Claudia Louzada Martins e Kátia Aparecida de Castro, que prontamente aceitaram modificar o planejamento de suas aulas para também aplicarem esta sequência didática.

Às minhas diretoras, Lady Maria Christina de Castro Budaye Sabadell e Maria Cecília Camargo Aranha, e à minha coordenadora, Ana Paula Costa, que tornaram viável a aplicação da sequência didática aqui proposta.

Finalmente, aos meus queridos alunos, sem os quais nada disso teria sido possível.

Resumo

CORTEZ, Eduardo Pessonina Molina. **Descobrimdo a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência**. 2018. 251 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Este trabalho buscou unir três metodologias referenciadas como potencial promotoras de aprendizagem a respeito de conteúdos descritos como “difíceis” e a respeito de natureza da ciência: sequências didáticas, jogos eletrônicos e história da ciência aplicada ao ensino. Na sequência didática, elaborada como uma contação de história interrompida por momentos de investigação, retratou-se alguns pensadores que discutiram modificação de espécies antes de Charles Darwin (1809-1882) e se estende até a publicação do *Origem das Espécies*. Em particular, o período em que Darwin voltou da viagem a bordo do *HMS Beagle* foi transformado em um jogo virtual. Toda a sequência didática foi avaliada pelos membros dos Laboratório de História da Biologia e Ensino e sua aprovação contou como uma etapa de validação. Paralelamente, a a proposta de ensino foi avaliada e validada segundo referências específicas sobre sequência didática e interações discursivas, e o jogo foi validado segundo ferramenta de análise para jogos educativos. Após essas etapas de “validação prévia” aplicou-se a sequência didática a alunos de 9º ano como um estudo de caso. A análise de indícios de aprendizagem, obtidos a partir de filmagens, produções dos alunos e caderno de campo do professor-pesquisador, permitiu “validação *in loco*” da sequência didática. Os dados aqui apresentados dizem respeito à versão final dessa sequência, refinada a partir das validações e reaplicada a alunos de 9º ano. Os indícios de aprendizagem conceitual sobre seleção natural foram discutidos a partir da concepção de modificação de zonas de perfis conceituais e a aprendizagem a respeito de natureza da ciência foi discutida tendo em vista a ideia de ciência como um processo coletivo e complexo de ser produzido. Para ambos os aspectos, foi possível mapear uma transição de discursos a princípio desinformados para discursos informados.

Palavras chave: história da biologia; ensino de ciências; evolução; Darwin, Charles.

Abstract

CORTEZ, Eduardo Pessonina Molina. **Discovering natural selection: a learning-teaching proposition based on history of science**. 251 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

This work sought to unite three methodologies referenced as potential promoters of learning about contents described as "difficult" and about the nature of science: teaching-learning sequences, electronic games and history of science applied to teaching. The teaching-learning sequence, organized as a storytelling interrupted by moments of investigation, presents some of those who discussed modification of species before Charles Darwin (1809-1882) and extends itself to the publication of the *Origin of the Species*. Particularly, the time Darwin returned from the voyage aboard the *HMS Beagle* was transformed into a virtual game. The entire teaching-learning sequence was evaluated by the members of the Laboratory of History of Biology and Teaching and their approval counted as a validation step. In parallel, the sequence was evaluated and validated according to specific references on teaching-learning sequence and discursive interactions, and the game was validated according to an analysis tool for educational games. After this "prior validation", the teaching-learning sequence was applied to 9th grade students as a case-study. The analysis of learning cues, obtained from filming, student productions and the teacher-researcher's field notebook, allowed an "*in situ* validation" of the sequence. The data presented here refer to the final version of this sequence, refined from the validations and reapplied to 9th grade students. Conceptual learning inferences about natural selection were discussed from the concept of changes in conceptual-profile zones, and learning about the nature of science was discussed regarding the idea of science as a collective and complex process. For both aspects, it was possible to map a transition from naïve discourses at first to posterior informed discourses.

Key words: history of biology; science teaching; evolution; Darwin, Charles.

Lista de Figuras

Figura 1 - O losango didático.....	29
Figura 2 - Variação da dimensão epistêmica no losango didático.....	30
Figura 3 - Modificação na dimensão pedagógica do losango didático.....	31
Figura 4 - John Ray (1627-1705).....	46
Figura 5 - Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788).....	49
Figura 6 - Erasmus Darwin (1731-1802).....	55
Figura 7 - Georges Cuvier (1769-1832).....	60
Figura 8 - Jean-Baptiste Antoine Pierre Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829).....	64
Figura 9 - William Paley (1743-1805).....	74
Figura 10 - Robert Chambers (1802-1871).....	76
Figura 11 - Transmutação de espécies para Robert Chambers.....	79
Figura 12 - Charles Robert Darwin (1809-1882).....	81
Figura 13 - Robert Edmond Grant (1793-1874).....	85
Figura 14 - John Stevens Henslow (1796-1861).....	88
Figura 15 - Rota percorrida pelo navio <i>HMS Beagle</i>	100
Figura 16 - Comparação entre registro geológico e registro computacional.....	106
Figura 17 - Losango didático.....	129
Figura 18 - A dimensão pedagógica se aproxima do conhecimento científico.....	130
Figura 19 - O aluno trabalha de maneira independente sobre a dimensão epistêmica.....	130
Figura 20 - Dinâmica do trabalho em grupo.....	150
Figura 21 - Imagens apresentadas aos alunos na segunda questão do pós-teste..	152
Figura 22 - Uma das telas de “Uma Ideia Perigosa?”.....	170
Figura 23 - Respostas dos alunos.....	179
Figura 24 - Imagens apresentadas aos alunos na segunda questão do pós-teste..	193
Figura 25 - Imagens apresentadas aos alunos na segunda questão do pós-teste..	197
Figura 26 - Distribuição identificada de perfis conceituais.....	201

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Objetivos da sequência didática, estratégias para alcançá-los e materiais instrucionais para aplicação das estratégias em sala de aula.....	135
Tabela 2 – Quantidade de diretrizes para um jogo educativo cumpridas pelos jogos que retratam elementos de história da biologia.....	145
Tabela 3 – Dinâmicas planejadas para a sequência didática “Descobrimos a Seleção Natural” e sua classificação segundo o tipo de discurso envolvido.....	157
Tabela 4 – Distribuição de perfis conceituais do conhecimento dos 18 alunos analisados sobre seleção natural evidenciadas do pré- ao pós-teste.....	200
Tabela 5 – Todas as possibilidades de caminhos de transição completa de um perfil conceitual para outro.....	201
Tabela 6 – Dados de alunos que terminaram a sequência didática expressando-se dentro de um perfil conceitual de perspectiva variacional.....	205
Tabela 7 – Número de respostas que manifestaram as diferentes concepções analisadas sobre natureza da ciência.....	208
Tabela 8 – Somas das pontuações obtidas com as afirmações a respeito de natureza da ciência.....	211
Tabela 9 – Médias por aluno das pontuações obtidas com as afirmações a respeito de natureza da ciência no pré- e no pós-teste.....	212
Tabela 10 – Variações das concepções dos alunos, entre o pré- e pós-teste, a respeito da Ciência como empreendimento individual / coletivo.....	212
Tabela 11 – Variações das concepções dos alunos, entre o pré- e pós-teste a respeito da produção de conhecimentos como caixas pretas ou por meio de um processo complexo.....	213

Sumário

1 Introdução	17
1.1 História e filosofia da ciência aplicada ao ensino	23
1.2 Jogos eletrônicos aplicados ao ensino	26
1.3 Sequência didática como estratégia de ensino	28
1.4 A proposta de pesquisa	32
2 Breve história das teorias sobre transmutação das espécies	36
2.1 Transmutação e fixismo ao longo do século XVIII e início do XIX	41
2.1.1 <i>John Ray</i>	45
2.1.2 <i>Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon</i>	48
2.1.2 <i>Erasmus Darwin</i>	54
2.1.3 <i>Georges Cuvier</i>	59
2.1.4 <i>Jean-Baptiste Pierre Antoine Monet, Chevalier de Lamarck</i>	63
2.1.5 <i>William Paley</i>	73
2.1.6 <i>Robert Chambers</i>	76
2.2 Charles Darwin e o conceito de seleção natural	80
2.2.1 <i>Primeiros contatos com a transmutação</i>	84
2.2.2 <i>A viagem a bordo do HMS Beagle</i>	90
2.2.3 <i>Primeiro desenvolvimento do conceito de seleção natural</i>	100
2.2.4 <i>A coleta de evidências e a necessidade de publicar</i>	109
2.2.5 <i>O processo de divulgação da teoria</i>	116
2.2.6 <i>O Origem das Espécies e seu impacto</i>	122
3 Descobrendo a seleção natural: uma proposta de sequência didática	128
3.1 Construção e validação da primeira versão da sequência didática	137
3.2 Primeira versão da sequência didática validada	153
3.2.1 <i>Aplicação da primeira versão da sequência didática</i>	163
3.2.2 <i>Sobre a duração da sequência didática</i>	184

3.3 Segunda versão da sequência didática.....	185
4 Resultados e Discussão.....	195
4.1 Aprendizagem sobre seleção natural	197
4.2 Compreensão sobre aspectos de natureza da ciência	207
5 Considerações finais.....	217
Referências Bibliográficas Primárias.....	220
Referências Bibliográficas Secundárias.....	226
Anexos	242
Anexo A – Análise de “Uma ideia perigosa?” segundo diretrizes propostas por Ibrahim e colaboradores (2012).....	242
Anexo B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	253
Anexo C – Conteúdo disponíveis <i>online</i>	255

1 Introdução

Evolução é um dos temas que fundamenta a compreensão da biologia contemporânea. Com uma interpretação associada à genética, compondo um panorama que passou a se chamar “teoria sintética da evolução”, esse conhecimento se tornou o grande elo para as diversas áreas que incorporam as ciências biológicas. Essa é a perspectiva defendida por Theodosius Dobzhansky em 1973, em seu artigo “*Nothing in Biology makes sense, except in the light of evolution*”, e incorporada a diretrizes nacionais e internacionais de ensino de ciências e de biologia (por exemplo, Brasil, 1998a; Brasil, 2016; France, 2016; National Research Council, 2012; United Kingdom, 2014).

O documento intitulado *Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica*, que tem o propósito de nortear os currículos nacionais e seus conteúdos mínimos, segundo parecer do Conselho Nacional de Educação (Brasil, 1998b, p. 2), estabelece a obrigatoriedade do ensino de Ciências da Natureza como disciplina no Ensino Fundamental de nove anos e no Ensino Médio – nesse caso, a disciplina se subdivide em Biologia, Química e Física (Brasil, 2013, p. 114 e p. 187). Esse documento, no entanto, não especifica os conteúdos a serem abordados dentro dessas disciplinas. Segundo o parecer do Conselho Nacional de Educação, as especificidades de conteúdo são entendidas como uma parte diversificada do currículo, que pode ser parcialmente adaptada à realidade de cada região brasileira. Os conteúdos obrigatórios deveriam, então, ser elencados na Base Nacional Comum, prevista no artigo 9º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Brasil, 1998b, p. 7) e a parte efetivamente diversificada, junto com alguns conteúdos mínimos, seria sugerida nos Parâmetros Curriculares Nacionais (*Ibidem*, pp. 5-6).

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental, que já haviam sido publicados em 1998, defende-se que a diversidade biológica seja ensinada como uma consequência dos processos evolutivos (Brasil, 1998a, p. 43) e incentiva-se que se realize um primeiro contato com as teorias de Jean-Baptiste Pierre Antoine Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e Charles Robert Darwin (1809-1882), comparando-as, quando os alunos alcançam o quarto ciclo do Ensino Fundamental, ou seja 8º e 9º ano (Brasil, 1998a, p. 97). Essa sugestão é lançada como uma proposta de conteúdo mínimo no documento.

Como estabelecimento de conteúdo obrigatório, a Base Nacional Comum Curricular, sustenta a importância da evolução para as ciências da vida, reforçando seu papel central no conhecimento científico e utilizando esse conceito para nomear uma das unidades temáticas que devem ser vistas todos os anos no Ensino Fundamental: “Vida e Evolução” (Brasil, 2017, p. 324). Esse documento promove que uma visão sobre evolução associada à ecologia seja ensinada para alunos a partir do 7º ano (*Ibidem*, pp. 344-345) e que a história do pensamento evolutivo seja ensinada a partir do 9º ano (*Ibidem*, pp. 348-349).

Mesmo com esses documentos apontando o papel central da evolução para a compreensão das ciências biológicas, observam-se dificuldades para o desenvolvimento de um bom processo de ensino e aprendizagem sobre esse tópico. Analisando livros didáticos publicados entre 1999 e 2009, Viviane Carmo, Nelio Bizzo e Lilian Martins identificaram uma grande quantidade de erros conceituais sobre evolução, bem como falhas ao retratar a história da elaboração dos conceitos evolutivos (Carmos, Bizzo e Martins, 2009, p. 210-211). Luiza Marta Bellini, estudando as imagens e analogias de 12 livros didáticos encontrados em uma biblioteca de escola pública estadual, apontou que a maioria apresentava modelos de evolução linear, com sentido de melhoria da espécie; segundo a autora, alguns livros comparavam espécies e organizavam-nas em um modelo de escada evolutiva (Bellini, 2006).

Não bastando os erros encontrados em livros didáticos, observa-se também que, muitas vezes, os alunos já iniciam os estudos em evolução com uma resistência a alguns conceitos, principalmente no que concerne à evolução humana, como Graciela Oliveira aponta em sua dissertação de mestrado (Oliveira, 2009, pp. 97-100). Para a autora, são as ideias que o aluno já carrega consigo para a sala de aula, fundamentadas por seu meio cultural, que influenciam em sua aceitação ou rejeição dos conceitos evolutivos (*Ibidem*, 2009, p. 115) e, segundo Charbel El-Hani e Nelio Bizzo (1999), os conceitos científicos que mais divergem das concepções prévias dos alunos são aqueles comumente considerados mais difíceis e que enfrentam maior resistência à aprendizagem.

Em uma investigação a respeito de como se dá o ensino de evolução em Brasília, Rosana Tidon e Richard Lewontin reportaram que os professores costumam abordar o conteúdo em menos de 10 aulas e apenas no final do curso do Ensino Médio. Isso, como apontam os autores, abre espaço para que partes do conteúdo não sejam ensinadas. Muitas vezes, os professores consideram o próprio conteúdo

que lecionam como algo difícil para si próprios, ou, quando acham fácil, como apontaram a respeito da diferença de teorias de Lamarck e Darwin, existe uma alta probabilidade (às vezes, próxima de 50%) de esses professores estarem cometendo algum erro de interpretação sobre o conteúdo que têm de ensinar (Tidon e Lewontin, 2004, p. 125-126) – em artigo posterior, Rosana Tidon e Eli Vieira apontam que muitos professores apresentam também “concepções lamarckistas, ao afirmar que a evolução biológica é direcional, progressista, e que ocorre em indivíduos, ao invés de populações (Tidon e Vieira, 2009). Um achado semelhante é feito por Ana Paula Netto Carneiro: de 75 professores pesquisados, apenas 20 apresentaram uma compreensão satisfatória a respeito de conceitos ligados à evolução biológica (Carneiro, 2004, p. 96). Para os professores, algumas vezes não está claro qual o objeto de estudo da evolução biológica, ou qual é o alcance da (ou mesmo o que significa) seleção natural, entre outros exemplos (cf. Carneiro, 2004, pp. 97-109).

Associados aos problemas conceituais, o ensino e aprendizagem de evolução traz consigo questões que envolvem a interpretação de como a ciência funciona, o que realmente significam os termos adotados por cientistas, como cientistas trabalham e o que está por trás desse trabalho. Em muitos materiais didáticos, tratam-se as teorias de Lamarck e Darwin como sendo os únicos pensamentos sobre modificação de espécies, sem mencionar pensadores que vieram antes de Lamarck, que conviveram com Lamarck ou Darwin e mesmo sem mencionar os trabalhos de Alfred Russel Wallace (1823-1913) (Carmo, Bizzo e Martins, 2009, pp. 210-211). Essas abordagens acabam por passar a ideia de que Charles Darwin foi “o pai da Evolução”; um pesquisador que, de maneira independente, criou o conceito que temos hoje – alguns materiais indicam, até mesmo, que essa criação teve lugar nas ilhas Galápagos (cf. Rees, 2007, p. 54). A respeito disso, Roberto Martins nos lembra:

É inadequado perguntar “A quem devemos a teoria da evolução que temos hoje?”, porque a pergunta já parte de uma suposição equivocada - a de que cada ideia se originou do trabalho de um único indivíduo. A pergunta adequada seria “Como surgiu a teoria da evolução biológica?” - e, então, deve-se investigar toda a complexa rede de relações históricas que levaram à concepção atual (ou de qualquer outro período) (Martins, R., 2010, p. 6).

Atribuir somente a Darwin a elaboração de concepções evolutivas, além de ser um relato historicamente incorreto, é algo que não representa o real funcionamento do processo científico como um empreendimento coletivo:

O conhecimento científico é produzido por comunidades de prática, que variam desde equipes de laboratório relativamente pequenas a grupos maiores organizados por disciplinas e subdisciplinas científicas. Nesse sentido, a ciência é feita em grupos, tanto pequenos quanto grandes. Por meio de ciclos de atividade extensos e iterativos, esses grupos planejam, conduzem e solucionam problemas em investigações; analisam, interpretam e extraem sentido de dados; constroem, examinam e refinam argumentos; desafiam, criticam, defendem e revisam alegações de conhecimento científico; e, coletivamente, vetam e admitem tais alegações ao cânone científico (Abd-El-Khalick, 2012, p. 2097¹).

Além de fomentar uma visão distorcida sobre o processo de construção do conhecimento científico, a narrativa centrada em um personagem único – e, geralmente, masculino – fomenta a imagem de cientistas que são gênios², que fazem profundas descobertas de um instante para o outro, sem qualquer tipo de trabalho duro; uma imagem estereotipada de uma figura que já se encontra no imaginário dos alunos (Losh, 2010). Essa imagem de “genialidade”, no sentido que soa quase como uma habilidade sobrenatural de resolver sozinho, rapidamente e de maneira descontextualizada, problemas que atormentavam a humanidade há tempos, alinha-se com o que Bruno Latour (2011) descreve como sendo o pensamento sobre ciência levando-se apenas em consideração a ciência pronta. Latour diz que, quando se olha, do ponto de vista atual, no presente, para conceitos e teorias que foram criados no passado, é comum que o leigo tenha a impressão de que a ciência é produzida a partir de ideias de umas poucas pessoas que, de maneira quase que trivial, são capazes de resolver grandes problemas e propor ao mundo soluções fechadas, inquestionáveis e, muitas vezes, de difícil compreensão. Essas “soluções” são chamadas por Latour de “caixas pretas”, expressão e símbolos usados em cibernética

¹ Todas as traduções foram realizadas pelo autor desta dissertação, salvo quando explicitamente expresso o contrário.

² Não se deseja sugerir, em momento algum, que Charles Darwin não tenha sido um naturalista brilhante. Apenas chama-se a atenção para o fato de que a impressão de cientistas geniais, sempre com um intelecto superdesenvolvido, deslocados de sua realidade e mal compreendidos passa uma ideia errada para os alunos a respeito de como a ciência funciona (Allchin, 2013), além de promoverem um desinteresse pela carreira científica por julgarem-na como algo além de seu alcance (Losh, 2010).

para representar uma máquina ou um conjunto de comandos que se revelam complexo demais. No lugar dessa máquina ou processo, é desenhada uma caixinha preta, a respeito da qual não é preciso saber nada, a não ser o que nela entra e o que dela sai (Latour, 2011, p. 4).

Latour prossegue explicando que, por exemplo, a fita de DNA, organizada em uma dupla hélice pode ser interpretada como uma caixa preta: é comum imaginar que esse conceito já surgiu pronto, sem se preocupar com sua história, e apenas aplicá-lo vinculado à explicação de outro conceito (Latour, 2011, pp. 1-4).

Em sala de aula, alunos podem aplicar essa visão da ciência como um conjunto de caixas pretas quando estudam as teorias científicas. Quando os alunos ouvem ou leem a palavra “teoria”, muitas vezes interpretam essa expressão com o mesmo sentido de “hipótese” ou algo que surgiu em um instante na cabeça de um cientista em específico, e que dificilmente poderia ter sido imaginado por outra pessoa, e não como o corpo de conhecimento profundo, respaldado por evidências e que é fruto de um árduo processo de trabalho. Essa visão pouco informada a respeito do que é teoria foi identificada como algo presente no ensino de evolução por Graziela Oliveira e o conflito entre a concepção do aluno e a concepção científica do termo “teoria” pode interferir no processo de ensino e aprendizagem (Oliveira, 2004, p. 19).

Adicionalmente, em situações de ensino, comumente encontram-se presentes concepções diversas (de estudantes, de professores, de autores de livro-didático), dialogando entre si e com o conceito científico esperado que se ensine e se aprenda. Experiências de incorporação da história da ciência nesse diálogo têm apresentado resultados positivos, fomentando um ambiente de aprendizagem ativa (por exemplo, Carmo, 2011; Pereira, 2014; Silva, 2013; Souza, 2014). Ainda, segundo Douglas Allchin (2013), esse é o caminho indicado para se desconstruir aquilo que Bruno Latour chamou de “caixa preta”.

Outra abordagem que tem se mostrado eficaz em promover uma participação ativa dos alunos em sala de aula e a reflexão sobre o que se está aprendendo, levando o aluno a entender aspectos de natureza da ciência, são os jogos eletrônicos (DeCoito, DiGiuseppe e Friedberg, 2012). Os jogos como ferramenta de ensino e aprendizagem são indicados como ferramentas eficazes para produção de engajamento dos alunos e para motivá-los a se dedicar a tarefas compreendidas como in-

telectualmente difíceis ou cansativas (Squire, 2006), o que os torna uma ferramenta interessante para se abordar um assunto cercado de dificuldades, e concepções conflituosas, como o ensino de evolução tem sido descrito.

Ainda outra estratégia aplicada a situações de ensino em que se detectam problemas específicos de um conteúdo, como o baixo desempenho de alunos ou a falta de interesse de uma turma, é a elaboração de sequências didáticas (internacionalmente conhecidas como *teaching-learning sequences*). Uma sequência didática pode ser compreendida como um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas com início e fim claros tanto para professor quanto para alunos e que visam a realização de certos objetivos educacionais (Zabala, 1998, p. 18). A sequência didática é, ainda, geralmente implementada como uma pesquisa-ação (Méheut e Psillos, 2004, pp. 515-516).

Essas três metodologias de ensino – ensino baseado na história da ciência, utilização de jogos eletrônicos e o trabalho por meio sequências didáticas – parecem se adequar como potenciais formas eficazes de se abordar o ensino de evolução. Em função disso, elas serão estudadas em maiores detalhes nas próximas subseções deste capítulo, tendo em vista o objetivo de adotá-las para a produção de uma sequência didática capaz de promover indícios de aprendizagem sobre o conceito de seleção natural e sobre indícios de natureza da ciência – especialmente a ciência vista como empreendimento coletivo e produzido não de uma hora para outra, com trivialidade, mas por meio de um processo com marcadas dificuldades.

Não se pretende, no entanto, compreender tais indício de aprendizagem como rupturas definitivas com as concepções prévias dos estudantes. Eduardo Mortimer indica que instigar essa ruptura por meio de “experimentos cruciais” é, muitas vezes, uma tarefa infrutífera, que gera mais obstáculos à aprendizagem. Em vez de se trabalhar nessa perspectiva, o autor sugere que o processo de ensino e aprendizagem vise a construção de perfis conceituais: maneiras de pensar e definir conceitos que se adequam a diferentes contextos. Nessa perspectiva, não se espera que o aluno abandone todas as suas ideias sobre um determinado assunto e nunca mais empregue um termo científico expressando uma ideia de concepção desinformada. Ao contrário, espera-se que o aluno reconheça contextos em que deve prezar pela precisão científica e contextos em que possa se expressar com liberdade, utilizando expressões populares, ainda que elas não sejam cientificamente acuradas (Motimer, 1996).

A fim de se empregar a concepção de perfis conceituais na análise deste trabalho, adotou-se como referência os perfis conceituais sobre “adaptação” elencados por Cláudia Sepulveda, Eduardo Mortimer e Charbel El-Hani, no artigo “Construção de um perfil conceitual para adaptação: Implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução” (Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013). Maiores detalhes serão fornecidos a seguir, na subseção sobre perfis conceituais.

1.1 História e filosofia da ciência aplicada ao ensino

Na versão revisada e ampliada dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), o Ministério da Educação de nosso país aponta que a história das ciências e da matemática, em uma situação de ensino, dá ao aluno “uma compreensão mais ampla da cultura, da política, da economia, no contexto maior da vida humana” (Brasil, 2002, p. 25), além de ser capaz de ilustrar “o desenvolvimento e a evolução dos conceitos a serem aprendidos” (*Ibidem*, p. 54). Na Base Nacional Comum Curricular, demanda-se que o aluno empregue seus conhecimentos dentro de um contexto histórico, associando explicações ou modelos às modificações pelas quais passaram o conhecimento científico (Brasil, 2017, p. 321) e, mais que isso, dentre as competências específicas de ciências da natureza para o Ensino Fundamental consta “compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano e o conhecimento científico como provisório e cultural”, determinando, portanto, que os alunos aprendam, além do conteúdo tradicional, elementos de natureza da ciência (*Ibidem*, p. 322).

Essa posição a respeito da importância de se ensinar elementos de natureza da ciência não é exclusividade no Brasil e tem sido reafirmada em documentos curriculares internacionais ao longo dos últimos anos (por exemplo France, 2016; National Research Council, 2012; United Kingdom, 2014).

Pesquisas sobre o ensino de ciências que direcionam ou se apoiam sobre esses documentos têm apontado resultados positivos com a associação de história e filosofia da ciência à sala de aula de Educação Básica - por exemplo, ver a seção

“*Praxis*”, no livro *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom* (Kokkotas, Malamitsa e Rizaki, 2011).

Quando argumentava em favor de um panorama teórico para a aplicação de história da ciência no ensino, Michael Matthews escreveu:

[A história e a filosofia da ciência] podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam (Matthews, 1995, p. 165).

Essas aulas desafiadoras e reflexivas são, de fato, observadas em trabalhos recentes. Rosa Andrea Lopes de Souza pesquisou a motivação de 55 alunos de 2ª série do Ensino Médio ao participarem de uma sequência de 8 aulas sobre evolução com enfoque na história de Alfred Russel Wallace. A autora encontrou elevados índices de declaração explícita de interesse e motivação feita pelos alunos ao longo de todo o curso (Souza, 2014, p. 89). Tatiana Tavares da Silva, pesquisando a aprendizagem promovida também em aulas de evolução para o ensino médio, mas com uma abordagem histórica focada na replicação de experimentos de Darwin, relatou tanto a aquisição de novas informações a respeito do cientista, que já era conhecido pelos alunos, quanto a construção de novas conexões e novas afinidades com Charles Darwin. Um de seus alunos manifestou: “Eu não sabia que Darwin era um cientista experimental e isso foi algo que me identificou muito comigo [*sic*], pois adoro fazer experimentos” (Silva, 2013, p. 75). A autora também se deparou, ao longo de sua pesquisa, com reflexões que partiam dos próprios alunos, relacionando o momento histórico que estavam estudando a conhecimentos sobre um panorama teórico evolutivo mais amplo que já era de seu conhecimento (Silva, 2013, p. 75).

Esse influxo de boas sensações provocados pelo trabalho de Rosa Souza e Tatiana Silva ganham importância quando vistos à luz do desinteresse que muitos estudantes apresentam em relação ao ensino de ciências, identificado pelo exame PISA, aplicado internacional, e pelo exame ROSE, quando foi aplicado a alunos brasileiros (Oliveira e Bizzo, 2009).

Em sua dissertação de mestrado, João Durbano indica que, além desse potencial em promover um processo de aprendizagem reflexivo e estimulante, a histó-

ria e filosofia da ciência tem o potencial de se constituir em uma ferramenta para a promoção de compreensão informada e fundamentada a respeito da natureza da ciência, que se revela quando as ferramentas de avaliação estão devidamente associadas aos métodos de ensino, permitindo ao aluno expressar sua interpretação e compreensão do fazer científico (Durbano, 2012, cap. 3). Esses fatores, em conjunto, parecem indicar, então, um caminho para se alcançar as metas de aprendizagem apontadas pela Base Nacional Comum Curricular e por outros currículos internacionais. O número de trabalhos que investigam a introdução da história da ciência para a promoção da educação contextual das ciências, portanto, veio se expandindo nos últimos anos e divulgando casos diversos de sucesso dentro de diferentes temáticas e com diferentes públicos-alvo (para alguns exemplos, veja Abd-el-Khalick, 1999; Abd-El-Khalick e Lederman, 2000; Ackerson, Abd-El-Khalick e Lederman, 2000; Matthews, 1995, 2009, 2014; Kampourakis, 2016; Kampourakis e McComas, 2010; Kampourakis e Gripiotis, 2015).

Especificamente em relação ao ensino de evolução, os erros que têm sido apontados em livros didáticos, sejam eles brasileiros (Bellini, 2006; Carmo, Bizzo e Martins, 2009) ou estrangeiros (McComas, 1997; Rees, 2007), desfavorecem uma boa aprendizagem sobre natureza da ciência. Um número cada vez maior de propostas de ensino envolvendo história e filosofia da ciência têm sido desenvolvidas nas universidades, como divulgaram Maria Elice Brzezinski Prestes e Paulo Takeo Sano no encontro conjunto da *International Society for the History, Philosophy, and Social Studies of Science* e da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia, em 2017 (Prestes e Sano, 2017, pp. 136-137), mas, essas propostas ainda estão longe de ocorrer em quantidade suficiente para cobrir todos os conteúdos da Educação Básica ou todos os elementos de natureza da ciência que se queira ensinar. Assim, eventualmente, o professor que quiser incorporar história e filosofia da ciência à sua sala de aula, lidará com conteúdos a respeito dos quais ainda não há material didático desenvolvido.

Ana Maria Alfonso-Goldfarb explica que o desenvolvimento de um relato completo sobre a história da ciência deve envolver as maneiras pelas quais os cientistas trabalham, a cultura da época, as crenças e as motivações dos pesquisadores estudados, indo além do conhecimento científico em si (Alfonso-Goldfarb, 1994). Douglas Allchin propõe que se pense a história da ciência como uma ferramenta pa-

ra o ensino de natureza da ciência; o que também exige que o episódio histórico seja complexo em suas nuances, a fim de possibilitar uma aprendizagem mais efetiva (Allchin, 2013, esp. pp. 28-45³).

Dentro desse panorama, estabeleceu-se o primeiro dos objetivos desta dissertação: elaborar um estudo de caso histórico que permita o ensino e aprendizagem contextualizado de evolução e de aspectos de natureza da ciência. Ao se estudar a história de Darwin, determinou-se que os aspectos de natureza da ciência a serem abordados com maior ênfase seriam o aspecto coletivo da ciência, retratado especialmente pelas diversas trocas de conhecimento e comunicações que Darwin estabeleceu ao longo de sua vida, e o aspecto árduo de produção de uma teoria, que, nas palavras de Douglas Allchin, requer “robustez” – um conjunto complexo de informações obtidas por meio de experimentos diversos (Allchin, 2011, pp. 523-524) – em oposição à imagem da ciência como uma produção instantânea de caixas pretas.

1.2 Jogos eletrônicos aplicados ao ensino

Desde a década de 1970 há uma concordância geral na comunidade internacional de que o ensino de ciências pode se tornar mais significativo se estiver associado à tecnologia (Barab et al., 2010, p. 387). Transpor essa ideia para a sala de aula é um processo que ainda está acontecendo, e que ainda é alvo de debates metodológicos. O portal da Secretaria da Educação Básica, vinculado ao Ministério da Educação brasileiro, reúne diretrizes e orientações que já defendem, por exemplo, a aplicação de jogos eletrônicos em sala de aula (Brasil, 2006, 2013) e Base Nacional Comum Curricular inclui “jogar *games*” como uma das práticas de letramento que ocorrem naturalmente na vida do aluno, a partir da qual pode se partir para desenvolver conhecimento acadêmico (Brasil, 2017, p. 87) e indica a utilização de tecnolo-

³ O livro aqui citado de Allchin, *Teaching the Nature of Science*, é um guia de como aplicar a história da ciência em sala de aula, promovendo o ensino e aprendizagem de natureza da ciência. Nesse volume, encontram-se diversos exemplos e casos que foram bem-sucedidos ou não, com a devida discussão; mas, nas páginas apontadas, está a fundamentação teórica de por que usar a história como uma ferramenta no ensino.

gias digitais para “produzir conhecimentos e resolver problemas das Ciências da Natureza de forma crítica, significativa, reflexiva e ética” (*Ibidem*, p. 322).

Sérgio Nesteriuk, especialista em tecnologias digitais, afirma que “o contato com os videogames é um processo quase que irreversível na cultura contemporânea”, assim sendo, tais videogames deveriam ser aproveitados para aplicações práticas, “como no tratamento de problemas de coordenação motora e síndromes correlatas, no desenvolvimento de exercícios de raciocínio, lógica, reflexão, e de atividades de integração, iniciativa e cooperação” (Nesteriuk, 2009, p. 24).

Analisando casos em que os jogos são utilizados da maneira proposta por Nesteriuk, Liliane dos Santos Machado e colaboradores constataram empiricamente que o uso de jogos eletrônicos em sala de aula oferece motivação aos alunos e pode ser um aliado importante no processo educacional (Machado *et al.*, 2011, p. 261). Para Cláudio Lúcio Mendes, um jogo é recheado de formas de saber – uso de memória, envio de *feedback* ao jogador, trabalho e desenvolvimento das capacidades de aprendizagem, história, mitologia, noções sobre computação gráfica, inteligência artificial, etc. – das quais o jogador realmente extrai informações e formula aprendizagens (Mendes, 2006). Adriana Kei Ohashi Sato complementa: “A satisfação obtida a cada aprendizado e a superação de um desafio leva à diversão e ao prazer, antes de qualquer outro fator, e determina o aspecto lúdico do jogo” (Sato, 2009, p. 38).

Os jogos muitas vezes são descritos na literatura como portadores de um mundo próprio, carregado de aprendizagens relativas ao processo de jogar, envolvendo raciocínio lógico e desenvolvimento de percepções e coordenação motora (Cavalcanti e Soares, 2009, p. 257; Krüger e Cruz, 2001, p. 2), contudo podemos utilizar a ludicidade propiciada por este recurso para promover também a aprendizagem de conceitos científicos elencados em um currículo escolar: por exemplo, no que se refere particularmente ao ensino de biologia, vemos iniciativas de pesquisadores que desenvolvem seus jogos e os aplicam em sala de aula, promovendo aprendizagem sobre elementos epidemiológicos do ciclo da dengue (Silva *et al.*, 2008), sobre genética mendeliana (Silva *et al.*, 2013), e sobre processos digestivos (Oliveira Neto e Benite-Ribeiro, 2012), entre outros.

Dentre os diversos estilos de jogos aplicados ao ensino na Educação Básica, registrados na literatura, nota-se uma predominância do *Role-Playing Game* (RPG). Um dos motivos para isso é que o estilo de jogo permite que o aluno-jogador passe

a se enxergar como elemento ativo do processo de aprendizagem promovido pela ferramenta. Por meio de um avatar⁴, o jogador se vê imerso no ambiente virtual de aprendizagem, chegando a fazer referência ao personagem na primeira pessoa, e se vendo com liberdade para traçar seu próprio caminho nesse mundo (Gregório, 2014, pp. 57-58).

Em adição a esse fator, jogos eletrônicos podem também favorecer a compreensão de narrativas sócio-científicas (Barab *et al*, 2010, p. 395). Essa percepção conduziu Isha DeCoito, Maurice DiGiuseppe e Jeremy Friedberg a uma investigação em que se associou um jogo sobre a história da biologia ao ensino de natureza da ciência. Os participantes dessa pesquisa terminaram por ter uma visão informada sobre aspectos como as características tentativa e empírica da ciência, a subjetividade e o caráter sociocultural que são intrínsecos ao fazer científico, o papel da criatividade e imaginação dos cientistas e sobre a diferença entre teorias e leis (DeCoito; DiGiuseppe; Friedberg, 2012).

Inspirando-se em casos como esses, um segundo objetivo foi incorporado a esta pesquisa: desenvolver um jogo, no estilo RPG, que retratasse a história de Darwin ainda jovem, construindo suas primeiras explicações evolutivas, e associar esse jogo à narrativa histórica proposta, fornecendo aos alunos a oportunidade de vivenciar esse período histórico e construir seus conhecimentos junto a Darwin. Um elemento que foi marcado como importante de ser apresentado nesse jogo é que ele deveria retratar o aspecto coletivo do trabalho de Darwin – alinhando-se com o objetivo de ensino e aprendizagem sobre natureza da ciência – e o avatar do aluno seria representado pela figura histórica Syms Covington (1816?-1861), jovem contratado por Darwin para lhe auxiliar em suas coletas durante a viagem a bordo do *HMS Beagle* e que também trabalhou como amanuense para o naturalista nos anos que se seguiram à viagem.

1.3 Sequência didática como estratégia de ensino

⁴ Termo utilizado para se referir ao personagem que é controlado pelo jogador em um jogo eletrônico ou simulação e que atua como um meio de contato entre jogador e mundo virtual, provocando a sensação de imersão na realidade proposta pelo recurso eletrônico e permitindo a apropriação desse espaço.

A sequência didática é uma estratégia que tem como forte potencial servir de elo entre os conhecimentos inovadores produzidos pela pesquisa acadêmica e a realidade prática da sala de aula (Nascimento, Guimarães e El-Hani, 2009). Essa é uma prática que se converte tanto em uma atividade de pesquisa interventiva quanto em uma unidade de conteúdo dentro do currículo (Méheut e Psillos, 2004, p. 516), dadas as dinâmicas e relações entre professor, aluno, conhecimento científico e mundo material articuladas dentro do que Martine Méheut e Dimitri Psillos (2004, p. 517) chamam de losango didático (fig. 1).

Figura 1 – O losango didático.

Fonte: Retirado e traduzido de Méheut e Psillos (2004, p. 517)

Segundo Méheut (2005), tal modelagem para uma sequência didática se converte em uma estratégia de design e validação prévia do que se deseja implementar no espaço de sala de aula. O professor seleciona os conteúdos a serem ensinados e, durante a prática pedagógica, professores e alunos fazem constantes comparações com suas experiências de mundo real, aproximando e afastando essas pontas do losango (fig. 2), realizando-se, portanto, um trabalho sobre a dimensão epistêmica. Ao mesmo tempo em que professores e alunos se debruçam sobre essa dimensão da dinâmica de ensino, acontece uma mediação de quem está no controle da situação: por vezes o professor, guiando os alunos; por vezes os alunos trabalhando

de maneira independente, com o professor mais afastado, apenas supervisionando a produção de conhecimentos (fig. 3); isso caracteriza diferentes configurações da dimensão pedagógica e da maneira pela qual ela interage com a dimensão epistêmica.

Figura 2 – Variação da dimensão epistêmica no losango didático.

Exemplo de aproximação entre o conhecimento científico e o mundo material. Em cinza, retrata-se o losango em sua configuração original; em preto, a nova configuração, com a dimensão epistêmica curta – adaptado de Méheut e Psillos (2004, p. 517).

Outra abordagem de estudo permitida por esse modelo é a atenção ao que acontece não com as diagonais, mas com os lados do losango: pode-se investigar, por exemplo, como o aluno se relaciona com os conhecimentos científicos, ou com o mundo material, observando-se – ou antecipando-se, em uma situação de design e validação prévia – quais são os conflitos cognitivos envolvidos no processo de aprendizagem (Méheut, 2005, p. 197).

Uma sequência didática elaborada sobre tal abordagem pode ter, incorporadas à sua construção, outras etapas de validação prévia que não apenas o design no losango didático. Foi o que fizeram, por exemplo, Tatiana Tavares da Silva (2013, pp. 41-45) e Rosa Andrea Lopes de Souza (2014, pp. 72-75), que incorporaram discussões e testes dentro de seu grupo de pesquisas como mais uma etapa de validação, anterior à aplicação da sequência didática em sala de aula. Para que a sequên-

Figura 3 – Modificação na dimensão pedagógica do losango didático.

O professor pode se distanciar da problematização gerada ao se comparar o conhecimento lecionado ao mundo material, fornecendo espaço para que o aluno gerencie de maneira mais ativa sua aprendizagem e seus conflitos cognitivos – adaptado de Méheut e Psillos (2004, p. 517).

cia seja totalmente validada, no entanto, sua aplicação em campo, análise e reflexão subsequentes são consideradas etapas fundamentais, contando como validação posterior ou *in loco* (Méheut, 2005, pp. 202-203).

As análises embutidas na própria concepção da sequência didática são análises essencialmente qualitativas. O conjunto produzido pela sequência didática proposta e as análises de suas validações pode ser publicado para escrutínio de professores e pesquisadores, o que auxilia na instauração de um processo de “generalização situada”, ou seja, o processo de transformar dados gerados em um contexto em evidências que podem ser transferidas para e testadas em outros contextos que compartilham traços comuns em seu perfil etnográfico ou que apresentam questões semelhantes àquelas que motivaram a intervenção registrada (Simons *et al.*, 2003, pp. 358-359).

Sob a perspectiva da generalização situada, pode-se analisar casos de intervenções pedagógicas pautadas em sequências didáticas e ter confiança de que essa estratégia tem potencial para ser eficiente em outras situações que contemplem locais, pessoas ou situações similares (Simons *et al.*, 2003, p. 259). A ideia de se reproduzir uma sequência didática nessa perspectiva, dá forças às evidências de que sequências didáticas, de maneira geral, são eficientes em promover a aprendizagem de pontos conceituais que se propõe enfatizar (Taxini *et al.*, 2012, p. 93) e,

se vinculadas à história da ciência, promovem o desenvolvimento de uma visão informada sobre aspectos de natureza da ciência, juntamente à aprendizagem de conceitos científicos (Allchin, 2013, p. 250; Silva, 2013, pp. 74-77) e promover engajamento e motivação nos alunos (Silva, 2013, p. 77; Souza, 2014, p. 89). Além disso, a produção de uma sequência didática torna-se um facilitador para a divulgação e aplicação, por outros professores, das atividades propostas (Moroquio, Paiva e Fonseca, 2015).

Esses são os referenciais bibliográficos que inspiraram a modelagem da narrativa histórica a ser elaborada, juntamente com o jogo sobre a história de Darwin, em uma dinâmica de sequência didática e, como ponto de partida para essa modelagem, utilizou-se as informações extraídas das relações do losango didático, entendidas como relações discursivas entre professor, alunos, conhecimento científico e mundo material.

As fases de validação dessa proposta foram planejadas como sendo a validação prévia junto ao grupo de pesquisadores ao qual o autor está filiado e a validação *in loco* como uma aplicação da sequência a um grupo de alunos.

1.4 Perfis conceituais e a aprendizagem de evolução

Falar que os estudantes podem desenvolver diferentes perfis conceituais significa dizer que, em momentos diferentes de seu cotidiano, um mesmo estudante irá empregar diferentes formas de se expressar sobre um conceito. Eduardo Mortimer, ao defender essa perspectiva, fornece o exemplo de que uma mesma pessoa pode definir um casaco de lã como sendo um eficiente isolante térmico em uma aula de física e, conversando com um colega, pode se limitar a dizer que o casaco é “quente” (Mortimer, 1996, p. 26).

Nessa perspectiva, o aluno teria uma maneira de pensar dominante que poderia ser adaptada ou modificada temporariamente, de acordo com o contexto em que está inserido; essas flexibilizações do perfil são chamadas “zonas do perfil conceitual”. O perfil conceitual mais comumente expresso pelo aluno será aquela zona de perfil que for mais forte para ele, isto é, a zona de perfil que fizer mais sentido de acordo com seus compromissos epistemológicos e ontológicos (Mortimer, 1996).

Algo que é fundamental nessa concepção é que as zonas de perfil são iguais para todas as pessoas e podem ser mapeados por meio de uma metodologia própria, como foi feito para conceitos como “vida”, “morte”, “molécula”, “periodicidade”, entre outros (conferir levantamento em Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013, p. 440). Uma vez que as zonas foram mapeadas, é possível, então, utilizar esse panorama como ferramenta teórico-metodológica para ser aplicada em situações de ensino e aprendizagem (*Ibidem*, p. 471).

Especificamente dentro do panorama de ensino e aprendizagem sobre evolução biológica, Claudia Sepulveda, Eduardo Mortimer e Charbel El-Hani mapearam as zonas de perfil conceitual a respeito da ideia de adaptação. Os autores identificaram quatro zonas distintas: Funcionalismo Intra-Orgânico, Ajuste Providencial, Perspectiva Transformacional e Perspectiva Variacional (Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013).

O que torna essas zonas distintas uma das outras são os chamados compromissos ontológicos e epistemológicos que aparecem apenas dentro de cada zona. Diga-se:

- Declarações dentro da zona Funcionalismo Intra-Orgânico não reconhecem a ideia de “adaptação” enquanto adequação ao entorno ecológico. Para essa zona, “adaptação” e, portanto, as modificações apresentadas entre as espécies, são apresentadas por causas próximas, vinculadas à fisiologia do organismo;
- Manifestações na zona Ajuste Providencial concebem uma agência externa, sobrenatural, moldando os organismos e criando um sistema de ordem e harmonia na natureza;
- Um discurso na zona Perspectiva Transformacional irá explicar mudanças filogenéticas em função do acúmulo de mudanças ontogenéticas. Também se apresenta fortemente a ideia de adaptação ou modificação como formas de progresso da espécie;
- A zona Perspectiva Variacional apresenta como característica o pensamento populacional, assumindo que as estruturas orgânicas estão envolvidas na sobrevivência e reprodução diferencial dos organismos.

Cada uma dessas zonas apresenta também compromissos epistemológicos e ontológicos compartilhados com uma ou mais das outras zonas. Por exemplo, as Perspectivas Transformacional e Variacional buscam explicar as adaptações dentro de uma perspectiva evolutiva. Outro exemplo; as zonas Funcionalismo Intra-Orgânico, Ajuste Providencial e Perspectiva Transformacional levam em conta fatores relacionados à economia da natureza (Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013, p. 467). Esses, dentro outros exemplos, apresentam um cenário que permite ao aluno transitar entre as quatro zonas sem ter, necessariamente, que passar por todas elas em um processo gradual.

A partir dessas informações, elencou-se esse panorama teórico como ferramenta de análise desta pesquisa, auxiliando também em seu delineamento.

1.5 A proposta de pesquisa

Buscando-se reunir as vantagens presentes nas diferentes abordagens apresentadas, formalizou-se que esta pesquisa tem o objetivo de desenvolver, aplicar e avaliar uma sequência didática baseada na história da ciência e que traga dentro de si um jogo eletrônico como uma de suas estratégias de ensino.

A sequência tem os objetivos de promover o processo de ensino e aprendizagem do conceito científico de seleção natural e do aspecto meta-científico do trabalho coletivo na ciência, mostrando como Darwin interagiu com seus colaboradores e vivenciou um trabalho complexo, que requeria empenho, descaracterizando o pensamento desinformado a respeito de evolução como uma caixa preta que surge trivialmente na mente de um pensador. Com isso, pretende-se promover uma situação em que possa ser superada a concepção estereotipada de cientistas que trabalham de maneira solitária, isolada e que criam teorias de uma hora para outra.

Graciela da Silva Oliveira, Nelio Bizzo e Helenadja Motta Rios, em uma análise sobre o estado da arte das pesquisas a respeito do ensino e aprendizagem de evolução biológica, identificaram uma carência de pesquisas realizadas com séries finais do Ensino Fundamental (Oliveira, Bizzo e Rios, 2013, p. 95). Aproveitando-se do fato de que o autor deste trabalho leciona justamente para essas séries finais, esta pesquisa foi moldada como uma pesquisa-ação e a sequência didática proposta

foi direcionada para alunos matriculados no 9º ano do Ensino Fundamental. Espera-se que esta pesquisa ajude a suprir a carência apontada por Oliveira, Bizzo e Rios.

Para melhor reportar o trabalho desenvolvido, esta dissertação foi organizada em cinco capítulos, sendo o primeiro esta introdução.

A seguir, no capítulo 2, apresenta-se o episódio histórico que fornece base para o desenvolvimento da sequência didática. Optou-se por apresentar esse capítulo em duas partes: na primeira, busca-se mostrar correntes de pensamento sobre o caráter fixo ou passivo de modificação das espécies que marcaram os séculos XVIII e XIX e constituíram um contexto importante para o desenrolar do conflito entre esses pontos de vista; na segunda parte, fala-se sobre Charles Darwin, sua relação com os pontos de vista que defendiam o fixismo ou a transmutação de espécies, sobre o desenvolvimento do seu conceito de seleção natural, em sua teoria evolutiva, sempre amparado por ajudantes, familiares e colegas pesquisadores, sobre o processo que o levou a publicar o *Origem das Espécies*, incentivado por Charles Lyell (1797-1875) e tentando deixar claro para a comunidade intelectual que ele pensara em tal mecanismo antes de Alfred Russel Wallace (1823-1913). O capítulo encerra-se abordando como Darwin lidou com os impactos de sua publicação até sua morte, bem como expondo, brevemente, sua vasta obra, a fim de não se criar a ilusão de que Darwin apenas trabalhou no *Origem das Espécies*.

No capítulo 3, apresenta-se a sequência didática, abordando-se o seu processo de desenvolvimento e validação, de aplicação em sala de aula e de coleta e análise de dados por meio de triangulação.

O capítulo 4 é reservado para a apresentação dos resultados da aplicação da segunda versão da sequência didática, entendida como a versão validada. Nesse capítulo, analisam-se indícios de aprendizagem sobre o conceito de evolução por meio de seleção natural e sobre os aspectos de natureza da ciência abordados pela sequência didática, com especial foco na ciência enquanto empreendimento coletivo, que requer empenho dos cientistas e cujo conhecimento é produzido ao longo de um processo.

No capítulo 5, por fim, realizam-se as considerações finais a respeito do que foi visto ao longo do processo de pesquisa e levantam-se perspectivas para complementações por meio de pesquisas futuras.

2 Breve história das teorias sobre transmutação das espécies

O episódio histórico apresentado neste capítulo trata do desenvolvimento da ideia de seleção natural, um dos conceitos centrais da teoria de evolução dos seres vivos de Charles Darwin (1809-1882).

O percurso intelectual de Darwin já foi, por certo, fartamente explorado por historiadores da ciência. Contudo, esses estudos estão disponíveis, preponderantemente, em outros idiomas, especialmente inglês, francês e espanhol. Assim, justifica-se a elaboração desta narrativa, para que possa servir de subsídio à proposta didática de ensino de evolução na escola básica que compõe esta dissertação.

A razão maior para a elaboração deste capítulo, contudo, está no objetivo primordial que orientou toda a presente pesquisa: *contextualizar* historicamente o pensamento e as contribuições de Darwin, por meio de realce a sua interação com os contemporâneos. A ênfase da proposta didática aqui desenvolvida recai justamente sobre o papel das pessoas ao redor de Darwin.

Vale esclarecer, antes de mais nada, que ao fazer isso não se tem por intenção diminuir a importância das contribuições comumente atribuída ao naturalista inglês. Apontando para outra direção, a intenção aqui é a de alinhar a análise histórica a perspectivas mais atuais da história e filosofia da ciência, que apresentam o conhecimento científico como produto de uma construção realizada pelos seres humanos, e não algo “descoberto” na natureza pela ação de um gênio. Além disso, o episódio se mostra propício para ilustrar que o conhecimento científico não resulta do trabalho de mentes individuais, mas, sim, de um processo intrinsecamente coletivo (Latour, 2011, p. 211; Nyhart, 2016, p. 9). O tratamento explícito aplicado a esse aspecto de natureza da ciência, isto é, sua incorporação como objetivo declarado de ensino na proposta didática, contempla também um dos elementos que compõem o chamado “ensino contextual de ciências”, que vem norteando a pesquisa em ensino de ciências nas últimas décadas (Andúriz-Bravo, 2014; Prestes e Caldeira, 2009; Santos e Oliosí, 2013). Vale acrescentar ainda que realçar o papel de outros profissionais no desenvolvimento do trabalho de um certo autor não elimina a possibilidade de se continuar a reconhecer que ele possua uma genialidade singular; ao contrário, isso apenas confirmaria essa inteligência.

Parafraseando Michael Ruse: pode-se dizer que Darwin teve sorte, não nas suas inferências, pois essas são suas, mas nas fontes históricas e nas contribuições contemporâneas que teve à sua disposição (Ruse, 2016, p. 39). O subsídio histórico para a proposta didática desta dissertação, fornecido no presente capítulo, realça, portanto, o trabalho que Darwin desenvolveu em constante interação com outras pessoas.

Naturalmente, esta exposição seria incompleta sem que se analisassem elementos do contexto científico-filosófico precedente, particularmente, a partir do século XVII. Esse recuo no tempo é importante para mostrar que o pesquisador sujeito do estudo em questão não realizou algum tipo de descoberta súbita ou desconectada do seu contexto histórico, seja pela omissão ou distorção de aspectos que foram fundamentais na elaboração de suas ideias (Forato, 2008, p. 33). Assim, são discutidos alguns dos principais autores cujas obras foram relevantes no debate derivado da emergência das ideias sobre a transmutação das espécies.

Pelo lado das ideias fixistas sobre os seres vivos, são abordadas as obras de John Ray (1627-1705), William Paley (1743-1805) e Georges Cuvier (1769-1832). Pelo lado das ideias sobre transmutação das espécies, serão abordados Georges-Louis Leclerc, o conde de Buffon (1707-1788), Erasmus Darwin (1731-1802), Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) e Robert Chambers (1802-1871). A discussão das ideias desses autores é acompanhada, em todos os casos, de uma breve biografia científica, de modo a oferecer alguns dados contextuais para a aplicação da proposta didática desta dissertação.

Essa lista de autores precedentes, naturalmente, não tem pretensões de ser exaustiva⁵. Foram selecionados autores ingleses e franceses que são mencionados na historiografia já convencional da obra de Darwin (Bowler, 1983; Browne, 2007, 2011; Desmond e Moore, 2009; Ruse 2016). Ficaram de fora, por exemplo, Alexander von Humboldt (1769-1859), e outros autores do Romantismo alemão e da Naturphilosophie como Carl Gustav Carus (1789-1869), que acrescentam fatores adicionais na composição da matriz conceitual de Darwin, como defendido, por exemplo,

⁵ A lista de antecedentes das ideias de transmutação das espécies é bastante longa, como se pode conhecer pelo próprio “Esboço histórico” que Darwin acrescentou a partir da 3ª edição do *Origem das espécies*, em 1861. Na 6ª edição, de 1876, Darwin menciona cerca de 20 autores, dentre os quais estão os aqui selecionados Buffon, Lamarck e o “anônimo” autor de *Vestiges of the Natural History of Creation*, Robert Chambers.

por Robert Richards (2016, p. 97). A decisão de não tratar a relação com os autores alemães, enfatizados em trabalhos mais recentes de história da ciência, aqui se justifica simplesmente por exigirem um aprofundamento do debate historiográfico que vai além dos objetivos da presente dissertação, destinada ao desenvolvimento de um material instrucional para utilização da história da biologia no ensino.

Outro ponto a ser considerado a respeito de como esse relato histórico foi produzido diz respeito a possíveis vieses, já bem documentados na literatura sobre historiografia da história da ciência: a narrativa histórica será sempre imbuída, implícita ou explicitamente, dos valores e crenças do autor, carregando suas próprias concepções sobre como a ciência é produzida; aquilo que é escrito é fruto do contexto em que o autor está inserido e das fontes a que teve acesso; e é da própria natureza da historiografia. A história seja revista e modificanda ao longo do tempo, incorporando-se novas perspectivas (Forato, Pietrocolo e Martins, 2011, pp. 35-37). Há alguns elementos, no entanto, que são fundamentais a qualquer trabalho historiográfico e, entre eles, o mais enfatizado na literatura é o cuidado para se evitar anacronismos (*Ibidem*, p. 37). Justamente em função desse cuidado é que se optou por utilizar a palavra “transmutação” neste capítulo.

Naturalmente, seria possível falar de “teorias evolutivas” dos séculos XVIII e XIX, como uma referência, atual, às ideias que surgiram nessa época de que as espécies não eram fixas, como se pensava desde a Antiguidade, mas se transformam ao longo do tempo. Contudo, em nome do rigor terminológico da história da ciência, deve-se notar, em primeiro lugar, que o termo “evolução” que aparece nos textos do século XVIII, e antes dele, tinha um significado bastante diferente do atual. Os naturalistas utilizavam a expressão “evolução” no âmbito dos fenômenos embriológicos (Sloan, 2014; Martins, 1994, p. 57). Assim, por exemplo, Charles Bonnet (1720-1793), entre outros, chamava de “evolução” o desenvolvimento de organismos segundo a teoria da preformação, em contraposição à teoria da epigênese (Prestes, 2003, p. 101).

Em segundo lugar, a conotação mais ampla do termo “evolução” no século XIX levou o próprio Darwin a resistir pelo seu uso. Na primeira edição do *Origem das Espécies*, em 1859, o termo apareceu uma única vez, não como um substantivo, mas como verbo, “*have been evolved*” (“evoluíram”), na frase que encerra o livro:

Há grandeza nessa visão da vida, com seus vários poderes, tendo sido originalmente soprada em algumas poucas formas ou em apenas uma; e que, enquanto o planeta girava de acordo com a lei fixa da gravidade, a partir de um início tão simples, infinitas das formas mais belas e maravilhosas *evoluíram*, e assim ainda continuam a fazer⁶ (Darwin, C., 1859, p. 490, sem grifo no original).

Antes dessa utilização no *Origem*, quando produzia seus cadernos de anotações, Darwin utilizava a palavra “transmutação” (“*transmutation*”) – que também havia sido utilizada na obra de seu avô, Erasmus. Apenas cerca de 10 anos após essa tímida primeira aparição da palavra na publicação de Darwin é que “evolução” passou a ser empregada como termo de referência (Winkler, 2010, p. 921) ao que Darwin chamaria, ao longo do livro, de “teoria da descendência com modificação” (*theory of descent with modification*). Em função da escolha da palavra “transmutação” por Darwin, também a adotamos como título deste capítulo e como forma de sinalizar a modificação das espécies.

Retomando os cuidados que se deve ter na produção de um texto histórico, outro ponto que é comum alvo de atenção entre os historiadores é o cuidado para não se retratar os cientistas como “heróis”, enfatizando apenas alguns aspectos de suas ideias e omitindo conceitos que hoje seriam considerados errados (Forato, Pietrocola e Martins, 2011, p. 38). Em função disso, buscou-se justamente lançar luz àqueles que estavam em volta de Darwin, que o ajudaram ao longo de seu processo de coletas, pesquisas e experimentos. Também em função disso, o episódio histórico aqui retratado aponta para as dúvidas e receitas que Darwin registrou em suas anotações e correspondência ao longo desse processo de investigação.

Sobre os contemporâneos de Darwin, será destacado, especialmente, o trabalho conjunto com um personagem pouco explorado na própria historiografia, o jovem auxiliar Syms Covington (1816?-1861). Covington foi contratado por Darwin ainda a bordo do *HMS Beagle*, para ajudá-lo com a coleta de materiais geológicos e

⁶ A tradução para o português desse trecho final do *Origem das Espécies* é particularmente complexa. Em inglês, o livro termina com a frase “... *have been, and are being, evolved*”, fazendo com que o verbo evoluir só apareça uma vez, e como a última palavra do livro – o que a torna ainda mais marcante. Uma tradução mais literal seria “evoluiu e está evoluindo”, fazendo com que o verbo evoluir aparecesse duas vezes em função da concordância da frase. Na tradução mais recente do *Origem das Espécies* para o português, realizada por Carlos Duarte e Anna Duarte, os tradutores optaram por utilizar “evoluiu e continua a evoluir”, também utilizando o verbo duas vezes (Darwin, 2014, p. 554). Com a tradução aqui proposta, enfatizou-se o fato de o verbo ser utilizado uma única vez, mas reconhece-se que ainda não foi possível gerar o mesmo impacto que é visto no texto original de Darwin, com a palavra sendo a última da obra.

biológicos, especialmente de animais, como será indicado mais adiante, na seção 2.2.2 deste capítulo. No retorno a Londres, Covington continuou ajudando Darwin na importante análise do material coletado, realizada especialmente entre os anos de 1836 e 1839. Como será detalhado ao longo deste capítulo, foi durante essas análises e estudos que se deu o momento da grande mudança teórica que desembocou na teoria evolutiva dos seres vivos. Enquanto os diários e notas escritas durante a viagem são evidências de que Darwin permaneceu alinhado à ortodoxia biológica de que as espécies são fixas, após ter dado início, em Londres, ao trabalho com esses materiais, ele passou a produzir, em julho de 1837, uma série particular de cadernos de notas, os agora chamados *Notebooks on Transmutation* B, C, D e E (Wyhe, 2002b; Richards, 2016, p. 91).

Além das contribuições de Covington nesse período, será também realçado o papel de outras pessoas, em diferentes ocasiões da pesquisa de Darwin: seu mordomo, Joseph Parslow (1812-1898); sua esposa, Emma Wedgwood Darwin (1808-1896); sua filha, Henrietta Emma Darwin (1843-1930); seu cunhado, Charles James Fox Bunbury (1809-1886); seu primo, William Darwin Fox (1805-1880); seu irmão, Erasmus Alvey Darwin (1804-1881); Harriete Martineau (1802-1876), autora de textos políticos e par romântico de Erasmus; Robert FitzRoy (1805-1865), capitão do *HMS Beagle*; Charles Babbage (1791-1871), inventor e escritor; e Nicholas Lawson (1790-1851), vice-governador do arquipélago de Galápagos.

Conforme já bastante discutido na historiografia, Darwin também buscou o auxílio de diversos especialistas na extensa e paciente coleta de evidências que fortalecessem seus argumentos em favor da ideia de modificação das espécies. Essas figuras, diga-se John Stevens Henslow (1796-1861), John Gould (1804-1881), Asa Gray (1810-1888), Richard Owen (1804-1892), Joseph Dalton Hooker (1817-1911), Thomas Henry Huxley (1825-1895), George Robert Waterhouse (1810-1888), Thomas Vernon Wallaston (1822-1878) e Edward Blyth (1810-1873), com quem Darwin interagiu entre os anos 1839 e 1858, também serão abordadas ao longo deste capítulo.

Ainda enfatizando que Darwin não traçou um percurso solitário, aborda-se o papel de dois interlocutores mais diretamente relacionados à fase de preparações para a publicação do *Origem das Espécies*, em 1859, Charles Lyell (1797-1875) e Alfred Russel Wallace (1823-1913) e encerra-se o episódio histórico abordando as reações que o *Origem* despertou no público leitor e o processo pelo qual Darwin passou até sua morte, conquistando muitos críticos e alguns fãs.

A preocupação e o cuidado em retratar todas essas colaborações envolvidas no trabalho de Darwin está relacionada à atenção em manter-se fiel ao processo de construção do conhecimento vivenciado por Darwin, buscando-se evitar reduzir todo o empenho do naturalista inglês para levantar argumentos e discutir sua teoria a um *insight* de “gênio que tem ideias”, nas palavras de Bruno Latour (2011, p. 211). Além dessa preocupação em não reduzir o trabalho de um cientista, também buscou-se evitar ativamente a crítica de Steven Shapin aos historiadores e sociólogos da ciência que não dão atenção ao trabalho dos assistentes e técnicos – que, muitas vezes, têm papel majoritário no trabalho que se está investigando (Shapin, 1989, p. 556) – e, assim, alinhar-se a uma perspectiva atual para a historiografia da ciência, que se preocupa em estudar o papel da colaboração para a construção do conhecimento científico (Beaver, 2000, p. 29).

Um cuidado final que se teve, atendendo também a apontamentos feitos na literatura, foi o de não tornar a história como uma narrativa linear, que caminha, obrigatoriamente, a um fim que se desejaria enfatizar (Forato, Pietrocola e Martins, 2011, p. 38). A escolha dos autores trazidos para este trabalho tem justamente a finalidade de indicar como o pensamento sobre modificação de espécies passou por um processo com idas e vindas, ora, por exemplo argumentando-se em função de degeneração, ora em função de progressão de espécies e que, de tempos em tempos, teve sua argumentação silenciada por ideias fixistas que se renovavam. Mais detalhes a respeito da escolha desses personagens e sua relação com a tentativa de se evitar uma história linear são apresentados na seção a seguir.

2.1 Transmutação e fixismo ao longo do século XVIII e início do XIX

Retrospectivamente, é possível assinalar que o surgimento das ideias de transmutação das espécies, no século XVIII, ocasionou uma polarização com as ideias fixistas existentes desde a Antiguidade. De acordo com essas ideias, as espécies eram imutáveis – tendo existido desde sempre ou tendo surgido na Terra com a mesma aparência dos dias atuais. A transmutação seria, então, um contraponto a isso. Defendia-se que as espécies se modificavam de alguma maneira, ao longo do tempo, após o seu surgimento na Terra.

Visões fixistas são provenientes da Antiguidade, sendo associadas à ideia de um cosmos (universo) que não tem origem ou fim, que sempre existiu e existirá, como aparece nos escritos de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.). Segundo o filósofo, os seres vivos possuíam características essenciais, eternas, enquanto aquilo que sofre mudanças diz respeito apenas a aspectos não essenciais – no caso dos organismos humanos, por exemplo, caracteres como a cor dos olhos ou a cor do cabelo, que apresentam mudanças ao longo da vida do indivíduo. Além disso, Aristóteles considerava que plantas e animais se distinguíam segundo uma escala de perfeição, mas que não estava “acompanhada por nenhuma concepção de evolução dos seres vivos”, ou seja, “nenhuma espécie veio de outra; não houve um início da vida, na Terra (Martins, R., 2006, p. 124). Além disso, os indivíduos de cada espécie seriam munidos com recursos para garantir o bem-estar dos organismos e sua preservação na natureza na forma em que se os observavam (Solinas, 2015, p. 16).

Esse pensamento foi assimilado pela tradição cristã da Idade Média, incluindo o que alguns historiadores denominam Alta Idade Média (cujo início é definido pela queda do império romano, no ano de 476, e se estende até o ano 1.000) e a Baixa Idade Média (do ano 1.000 até finais do século XV). Nesse último período, especialmente nos séculos XII e XIII, “os escritos de Aristóteles sobre lógica e filosofia natural formavam o ponto central dos estudos universitários das humanidades e providenciavam uma preparação essencial para a carreira em medicina, direito ou teologia” (Stone, 2002, p. 9). No entanto, ocorreu aí o que se pode chamar de uma leitura cristianizada de Aristóteles. Como mencionado acima, nos originais de Aristóteles as espécies se mantinham fixas devido à sua essência própria, eterna, perfeita, imutável. Além disso, embora Aristóteles considerasse a existência de um deus, esse deus, por ser perfeito, não podia mudar ou se relacionar às mudanças (não essenciais) observadas na natureza. Por isso, diferentemente dos deuses gregos e do deus cristão, a divindade aristotélica não era associada a qualquer planejamento sobre o funcionamento da natureza, nem a qualquer ideia de finalidade (Martins, R., 2006, p. 87). Isso passou por uma mudança profunda na versão de Aristóteles erigida pelos autores medievais. Os chamados “padres da Igreja” desenvolveram a doutrina chamada “essencialismo”, segundo a qual as espécies tinham uma *finalidade* no ambiente, conjugando assim, a noção de essência de Aristóteles com um “finalismo” que não está presente no pensamento do filósofo grego. Esse essencialismo expressa a concepção de uma natureza sábia e perfeita, assemelhada ao Deus sábio e perfeito

da cristandade, operando por meio de causas finais que manteriam as espécies fixas (Solinas, 2015, p. 64).

O fixismo e o finalismo a ele associado foram concepções duradouras e sua manifestação será aqui exemplificada em duas obras: uma do final do século XVII, outra do início do século XIX, que apresentam os principais argumentos discutidos pelos propositores das novas ideias sobre a transmutação das espécies: *The wisdom of God, manifested in the works of the Creation*, publicada pelo naturalista John Ray (1627-1705) em 1691 e, *Natural Theology*, publicada por William Paley (1743-1805) em 1802.

Enquanto essa concepção sobre a imutabilidade da natureza permeava a história natural, a Europa do século XVIII foi marcada pelo que pode ser apresentado como uma dupla tradição de pesquisa dos seres vivos, com alguns pesquisadores voltados à identificação, nomeação e classificação e outros voltados ao que se denominava, no período, “a arte de observar e fazer experiências” (Prestes, 2005, p. 227). Embora a tradição de nomeação e classificação da história natural já tenha sido apontada como aquela que levou ao desenvolvimento das concepções de evolução dos seres vivos (Mayr, 1982), a visão experimental do mundo provocou naturalistas e pensadores, como Julien Offray de La Mettrie (1709-1751) a descrever a própria origem dos seres vivos como um experimento, em evento pautado em tentativa e erro, e não mais necessariamente algo vinculado a um Criador:

Em 1750, La Mettrie, médico epicurista e autor sensacionalista da obra *O homem-máquina*, abordou a questão vigente sobre a “origem dos animais”, formulando a hipótese de que existiria no ar “sementes” específicas ou viris que haviam sido trazidas à vida pelo calor antes de serem absorvidas e digeridas pelo corpo masculino. Uma vez que o primeiro homem não era capaz de procriar, a Terra generosa agiu como um útero físico. Além disso, a natureza agira por tentativa e erro e pelo acaso, como o poeta latino Lucrécio sugeriu, e houve muitas falhas antes de se produzir uma forma de vida viável [...] (Blanckaert, 2015, p. 2).

Somado a essa perspectiva, o século XVIII trouxe também uma discussão aprofundada sobre os fósseis. Essas estruturas, em geral, eram alvo de especulação (Faria, 2012, p. 11), com interpretações variando a partir de uma concepção que hoje identificamos como inorgânica dos fósseis – seriam como que “brincadeiras da natureza”, ou do Criador, algo como um trote, feito para enganar as pessoas –, pas-

sando por algo intermediário entre uma forma inorgânica e orgânica e ocasionalmente levantando conjecturas sobre a possibilidade de essas estruturas terem uma natureza orgânica (cf. Faria, 2012, pp. 23-39; von Hüpsch-Lonzen, 2003, p. 372; Zucon, Sobral e Dantas, 2011, p. 25). Quando, no entanto, estruturas fósseis e material extraído de espécies viventes foram organizados lado-a-lado, como no Gabinete de História Natural do Jardim do Rei, em Paris, as semelhanças entre esses dois tipos de materiais se tornaram aparentes. Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), superintendente do Jardim do Rei, que, dedicando-se ao estudo da coleção do Gabinete, passou a conceber uma história temporal da natureza, traçando relações entre espécies fósseis e viventes, em um panorama de modificação de espécies (Buffon, 1753, 1778). Foi, no entanto, mais tarde, especialmente em decorrência dos estudos de Georges Cuvier (1769-1832), que os fósseis passaram a ser considerados inequivocamente como resquícios de animais mortos, levando os naturalistas, ao final do século XVIII, a aceitarem consensualmente sua origem orgânica (Cuvier, 1795, 1796; Faria, 2012, p. 11). O curioso em relação ao estudo dos fósseis, contudo, é que, ao contrário de Buffon, Cuvier usou a comparação de fósseis com seres viventes para defender uma concepção fixista das espécies. Essa posição provocou desavenças de Cuvier com Jean-Baptiste Pierre Antoine Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819), que defendiam a transmutação das espécies⁷ (Faria, 2012, p. 94; Martins, L., 1993).

Como mencionado na Introdução deste capítulo, serão tratadas agora em maior detalhe seis figuras históricas, da França e da Inglaterra, relevantes para o tema aqui tratado: John Ray, Buffon, Erasmus Darwin, Jean-Baptiste Lamarck, Georges Cuvier e William Paley. Ressalta-se aqui que, com a escolha dessas figuras históricas, não se deseja construir uma história da ciência continuísta que acaba culminando em Darwin, pois isso seria historiografia já em desuso (Prestes, 2010), mas como lembra Roberto Martins (2010), é inevitável omitir partes da história e de resumi-la ao elaborar o estudo de um episódio da história da ciência. Reforça-se também que não há pretensões de se escrever uma história linear e concorda-se com Thaís Cyrino Forato, quando ela resgata a fala de Thomas Kuhn, dizendo que uma história linear pode levar ao ocultamento de processos que estão “na raiz dos

⁷ Para um exemplo da competição e das críticas entre Lamarck e Cuvier, conferir Lamarck ([1809] 1830, pp. 91-92) e Cuvier (1817a, pp. 114-115).

episódios mais significativos do desenvolvimento científico” (Kuhn, 1997⁸ *apud* Forato, 2009, p. 14).

O recorte apresentado foi realizado com base no objetivo de se converter esse episódio histórico em material didático e qualquer elemento, portanto, que pareça mais linear, como a ordem elencada para se discutir os autores e a maneira pela qual este capítulo foi dividido, foi assim estabelecida tendo em vista apenas uma finalidade didática e um melhor fluxo do texto para o leitor. Buscou-se, assim, esses autores devido ao fato de existirem inter-relações entre suas publicações, com acolhimento de algumas ideias em comum e críticas diversas a pensamentos expostos. Da mesma forma, a escolha dos personagens históricos busca mostrar como não houve um rompimento fácil e linear com o fixismo: John Ray apresenta um pensamento teológico-fixista, algo que não está presente nas obras selecionadas de Buffon e de Lamarck, mas que reaparece mais tarde, em William Paley. E mais um exemplo de complexidade histórica: contemporâneos, Lamarck, Erasmus Darwin e Cuvier apresentam propostas distintas para explicar a natureza, e suas semelhanças e diferenças adentraram o século XIX, estando presente no discurso de diversos pensadores.

Além desses autores, acrescenta-se aqui uma breve discussão das ideias de Robert Chambers, pensador que apresentou em sua obra *Vestiges of the Natural History of Creation* ([1844] 1994), ao mesmo tempo, um resgate de ideias sobre modificação de espécies e uma tentativa de conciliação dessas ideias entre si e também com princípios religiosos. A presença de Chambers neste trabalho é considerada importante para mostrar que, apesar de nosso interesse em dar destaque à história de Darwin, ele não foi o primeiro a reavivar a ideia de modificação de espécies.

2.1.1 John Ray

John Ray (1627-1705 – fig. 4) foi um naturalista inglês de destaque do século XVII. Ele pode ser descrito como “filósofo, escritor, clérigo, viajante e taxonomista” (Ford, 2000, p. 5). Sua obra é vasta, envolvendo trabalhos com plantas vasculares,

⁸ KUHN, Thomas. *A estrutura das revoluções científicas*. 5ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1997.

vertebrados e insetos, além de estabelecer alguns fundamentos para a classificação biológica, como a importância de se considerar toda a morfologia de um organismo – em vez de apenas algumas partes – e a diferenciação de plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas (Ford, 2000, p. 5; Henessy, 2010. p. 28). Ray publicou trabalhos também fora da história natural, envolvendo questões contemporâneas, teologia, metalurgia e provérbios, entre outros (Ford, 2000, p. 5). Suas contribuições à literatura e aos estudos da natureza foram volumosas e, portanto, julga-se necessário, para as finalidades a que esta dissertação se dispõe, realizar um recorte dessa obra vasta e selecionar um enfoque em particular. Eis, então, algumas das ideias expostas em *The wisdom of God, manifested in the works of creation*, publicada em 1661.

The wisdom of God defendia uma postura claramente fixista, pautada no princípio de que tudo o que se podia observar era fruto do trabalho perfeito de Deus, realizado no início dos tempos. Essa perspectiva já fica clara desde a abertura do livro: “[...] por Trabalhos da Criação, no título, refiro-me aos Trabalhos realizados por Deus no início e, por Ele, conservados até os dias atuais no mesmo estado e condição em que foram primeiro criados” (Ray, [1691] 1743, p. xviii), e a isso, Ray complementou: “[os trabalhos da criação] fornecem-nos prova demonstrativa da exten-

Figura 4 – John Ray (1627-1705).

Fonte: Imagem retirada do frontispício de *The Wisdom of God manifested in the Works of Creation* (Ray, [1691] 1743).

são ilimitada das habilidades do criador e da fecundidade de sua sabedoria e poder” (*Ibidem*, p. 18).

The wisdom of God é uma obra que vinculou a história natural às crenças teológicas de Ray em um panorama em que não havia oportunidade para a ação do acaso (Arber, 1943, p. 323; Solinas, 2015, p. 66). Ao descrever o olho, por exemplo, Ray afirmou que o funcionamento desse órgão fora projetado por um criador inteligente:

Vendo, por exemplo que o olho é empregado pelo homem e por todos os animais para a visão [...] é absurdo e intolerável se afirmar ou que ele não foi desenhado para esse uso, ou que é impossível de se saber se ele foi feito para isso ou não (Ray, [1691] 1743, pp. 39-40).

E o exemplo do olho se estendia para outros órgãos, do ser humano ou de outros animais. Como define Marco Solinas, “era absurdo pensar que órgãos não foram formados, montados e distribuídos com uma intenção sobre sua função, utilidade e objetivo precisos” (Solinas, 2015, p. 67).

Não era, no entanto, apenas o caráter perfeito dos órgãos e suas funções que justificariam a fixidez das espécies na natureza. Para Ray, o Criador havia tomado vários pequenos cuidados para que nenhuma espécie desaparecesse:

Eu devo notar o cuidado que foi tomado para a preservação dos [seres vivos mais] fracos, que, como estão expostos a injúrias, preveniu-se que se acumulassem aqueles [seres vivos] que são perniciosos e nocivos [aos mais fracos]; eis então uma demonstração do Poder e Magnificência divinos em criar tal variedade de animais, não apenas grandes, mas também pequenos; não apenas fortes e corajosos, mas também fracos e tímidos; assim não sendo um argumento menor sobre sua Sabedoria o fato de dar a estes animais meios, e poder e habilidades para usá-los, de se preservarem da violência e dos danos causados por aqueles. Daqueles dentre os fracos, alguns cavariam buracos e vãos na terra, como os coelhos, para garantir sua segurança e de sua prole; outros estariam armados com duras conchas; outros com espinhos; o resto, que não tem tal armadura, deveria receber grande rapidez ou malícia; e não apenas isso, mas alguns também têm seus olhos tão separados, como a égua, que eles podem ter seus inimigos sempre à vista; e orelhas côncavas e móveis, para receber e direcionar os ruídos mais baixos, ou aqueles que veem de longe, de maneira que esses animais não sejam repentinamente surpreendidos ou pegos desprevenidos (Ray, [1691] 1743, pp. 135-136).

E, ainda:

Sobre as aves de rapina ou animais que se alimentam em grandes quantidades, é notável o que Aristóteles observa, que eles são todos solitários, e não caçam em bando, “nenhuma ave de rapina é gregária”. E de novo, que tais criaturas não se multiplicam em grandes quantidades, “elas se reproduzem pouco”. Elas, em sua maior parte, procriam-se e dão à luz não mais que um ou dois, ou, pelo menos, uns poucos filhotes por vez. Enquanto aqueles que são frágeis e tímidos são geralmente múltiparos; ou, se dão à luz poucos filhotes de uma vez, como os pombos, compensam pela frequência do acasalamento, diga-se, a cada três meses ao longo de todo o ano, dessa forma, providenciando a continuidade de seu tipo (Ray, [1691] 1743, p. 138).

Passagens como essa, em que se pode constatar o raciocínio teleológico, repetem-se ao longo de toda a obra. Esse tipo de reflexão, fomentada pelas diversas reimpressões de *The Wisdom of God*, marcaria os estudos da natureza na Inglaterra do século XVIII (Solinas, 2015, p. 65). O livro alcançou também os demais países da Europa, tendo sido traduzido para o francês em 1714 e para o alemão em 1717 (Mickel, 1973, p. 10) e, segundo Alan Charles Kors (2016, p. 119-120), a tradução francesa abriria espaço para que se questionasse o posicionamento cartesiano de se negar causas finais na natureza.

2.1.2 Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon

Nascido em uma família nobre, Georges-Louis Leclerc (1707-1788 - fig. 5) recebeu o condado de Buffon quando tinha cerca de 10 anos de idade, em 1717. Aos 16 anos, em Dijon, iniciou sua formação em direito, “o que mais se enquadrava ao principal herdeiro de uma família estreitamente vinculada aos assuntos de Estado”, mas, ao terminar esse curso, em 1726, Buffon decidiu se dedicar plenamente às matemáticas, entrando em contato com a física de Newton e assistindo a algumas aulas na faculdade de Medicina, em Angers (Caponi, 2010, pp. 25-26).

Figura 5 – Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788).

Retrato pintado por François-Hubert Drouais em 1752. Atualmente se encontra no *Musée Buffon à Montbard*. – Fonte: Domínio público.

Em 1730, de volta a Dijon, Buffon conheceu um jovem aristocrata inglês, Evelyn Pierrepont, duque de Kingston (1711-1773), na época com 19 anos, que percorria a Europa acompanhado de seu preceptor alemão, Nataniel Hickman (nascimento e morte não encontrados), naturalista amador, em busca de educação complementar. Buffon decidiu seguir Kingston e Hickman em uma viagem que se estenderia até 1732, passando por La Rochelle, Bordeaux, Toulouse, Béziers, Montpellier, Lyon, Genebra, Turim, Milão, Gênova, Florença e Roma (Laissus, 2007, p. 14). De volta à França, Buffon optou por se instalar em Paris, na expectativa de ser admitido na *Académie des Sciences*, algo que viria a acontecer em 1734, quando recebeu o título de membro adjunto à seção de mecânica (Caponi, 2010, pp. 26-27). Desde que se instalara em Paris, Buffon vinha contribuindo com a demanda da *Académie* para providenciar estudos sobre a resistência da madeira e sobre os melhores métodos de se semear ou plantar árvores que fossem úteis para a construção de navios. Buffon, sendo dono de áreas florestais e de uma sementeira, contribuiu bastante para tais estudos, o que o levou a ser indicado, em 1739, como sucessor de Bernard de Jussieu (1699-1777), no posto de membro associado à seção de botânica (Lais-

sus, 2007, p. 18-19; Caponi, 2010, p. 27). Nesse mesmo ano, Buffon recebeu a oferta de assumir o posto de superintendente das florestas de caça reais, que ele recusou, e a nomeação, que aceitou, como intendente do Jardim e do Gabinete de História Natural do Rei (Laissus, 2007, pp. 23-25).

Foi trabalhando no Gabinete do Rei que Buffon produziu o trabalho que mais interessa a esta pesquisa. Reunindo amostras minerais, espécimes de plantas e animais, fósseis e objetos de culturas exóticas, enviados por correspondentes de diversos lugares do mundo, Buffon se viu incumbido de organizar todo esse material. Esse foi um trabalho exaustivo, que o motivou a solicitar a construção de uma residência dentro do próprio Jardim do Rei (Caponi, 2010, p. 28). Com auxílio de colaboradores, muitos dos quais também trabalhavam no Jardim e no Gabinete, Buffon se lançou à produção de sua monumental enciclopédia de história natural, a *Histoire naturelle générale et particulière: avec la description du Cabinet du Roy*. Composta por um conjunto de 36 volumes, sendo 29 tomos principais e 7 suplementos, editados por ele mesmo entre 1749 e 1788, e que ainda seriam complementados com mais 5 volumes de edição de Bernard-Germain-Étienne de Lacépède entre 1756 e 1825, dedicados à “história natural dos quadrúpedes⁹ ovíparos e das serpentes” (um volume; Lacépède, 1788) e à “história natural dos peixes” (quatro volumes; Lacépède, 1799-1803).

Ao longo dessa vasta obra, Buffon realizou algumas comparações entre amostras fósseis e espécies viventes, denotando suas semelhanças e construindo uma história para as formas de vida no planeta Terra. Ele reconhecia que o planeta deveria ter um tempo de existência muito maior do que se acreditava pelos cálculos pautados na interpretação literal da Bíblia, discutindo a possibilidade da coexistência

⁹ O termo “quadrúpede” fora originalmente proposto na classificação de Aristóteles, e poderia ser subdividido em ovíparos e vivíparos. John Ray já havia questionado a terminologia, argumentando que baleias, botos e peixes-boi compartilhavam muitas das características dos chamados quadrúpedes. Isso o motivou a incluir esses animais nesse grupo, retirando-os dos grupos dos peixes e, apesar de ele próprio manter a denominação, fez um apelo para que o nome “quadrúpede” não fosse mais usado. Tal apelo não foi ouvido e “quadrúpede” ainda foi um grupo presente na classificação de Buffon e nas primeiras classificações de Linnaeus. Apenas na décima edição do *Systema Naturae* desse autor é que se propõe a extinção do grupo *Quadrupedia*, que já vinha abraçando os seres humanos e outros animais que não se locomovem sobre quatro patas. Nessa edição dos *Systema Naturae*, a maioria dos animais realmente quadrúpedes passaram a ser chamados de mamíferos e um grupo menor ganha o nome *Amphibia*, que incluía, além dos atuais anfíbios, os animais que, hoje, chamamos de répteis (Schienbinger, 1993). No entanto, apesar da mudança de nomenclatura proposta, muitos naturalistas continuarão a chamar os grandes mamíferos de “quadrúpedes”, o que pode ser notado nos trabalhos de Georges Cuvier, por exemplo.

de seus cálculos com o que é ensinado nos textos sagrados. Além disso, Buffon apresentou argumentos e evidências que lhe permitiram construir um cenário em que as espécies se modificavam segundo certas condições. Essas informações, a princípio dispersas ao longo dos tomos principais do *Histoire Naturelle*, foram reunidas e revisadas no quinto suplemento publicado, intitulado *Les époques de la nature* (Buffon, 1778), que se iniciou com Buffon descrevendo seus métodos de trabalho, interpretando os fósseis como “monumentos históricos da natureza”:

Assim como na história civil consultam-se os títulos, investigam-se as medalhas, decifram-se as inscrições antigas para determinar as épocas das revoluções humanas e constatar as datas dos eventos morais; da mesma maneira, na história natural, é preciso escavar os arquivos do mundo, tirar das entranhas da Terra os velhos monumentos, recolher seus fragmentos e reunir em um corpo de provas todos os índices das mudanças físicas que podem fazer-nos remontar às diferentes épocas da natureza (Buffon, 1778, p. 1).

E é pela análise dos fósseis como “monumentos históricos da natureza”, afastando-se da concepção de que não passariam de “truques” do Criador, que Buffon foi capaz de enxergar diferentes épocas na história da Terra: épocas habitadas por diferentes seres vivos. A isso, Buffon acrescentou uma noção de “tempo profundo”, isto é, uma ideia de tempo medido pelos fósseis, de acordo com a profundidade a que se encontram no solo e de acordo com a disposição relativa desses materiais, sendo que, quanto mais profundamente for encontrado um fóssil, mais antigo ele será:

Parece que já se pode distinguir quatro e mesmo cinco épocas nas maiores profundezas dos tempos: a primeira, na qual a matéria do globo estava em fusão pelo fogo, a terra¹⁰ adquiriu sua forma e se elevou no equador e abaixou nos polos, por conta de seu movimento de rotação; a segunda, na qual a matéria do globo, estando consolidada, formou as grandes massas de materiais que servem de matéria prima para o vidro [*matières vitrescibles*]¹¹; a terceira, na qual o

¹⁰ Embora o vocábulo esteja com inicial minúscula, refere-se ao planeta Terra.

¹¹ Segundo o próprio Buffon, “os materiais que compõem o globo terrestre são, em geral, da natureza do vidro e podem ser todos reduzidos a vidro” (Buffon, 1778, p. 6). Essa maneira de se expressar sobre a natureza da matéria era algo comum na época. O *Traité Élémentaire de Chimie*, de Antoine Lavoisier (1743-1794) – manual que normatizaria a nomenclatura dos elementos e compostos químicos – só viria a ser publicado em 1789, e ainda assim demoraria cerca de 20 anos para sua completa adoção (Carvalho, 2012, p. 766). Uma das normas propostas pelo *Traité* foi a modificação da ex-

mar, cobrindo toda a terra atualmente habitada, abrigou os animais com conchas e então seus restos formaram as substâncias calcárias; e a quarta, na qual ocorreu a retração desses mesmos mares que cobriam os continentes. Uma quinta época, tão claramente apontada como as quatro primeiras, é aquela do tempo onde os elefantes, os hipopótamos e os outros animais do *Midi*¹² habitavam as terras do norte. Essa época é evidentemente posterior à quarta, pois os restos destes animais terrestres se encontram quase à superfície da terra, ao passo em que aqueles animais marinhos estão, em sua maioria e nos mesmos lugares, enterrados a grandes profundidades (Buffon, 1778, p. 17).

Além de os fósseis terem fornecido evidência para que Buffon pensasse em épocas diferentes da história da Terra, a disposição desses fósseis pelo globo também chamou sua atenção. Por que existiriam fósseis de certas espécies em regiões onde seus descendentes não são mais encontrados? Para responder a isso, Buffon se apoiou sobre duas premissas principais: “o globo terrestre possui um calor interior que lhe é próprio e que é independente do calor que os raios de sol podem lhe transmitir” e “o calor que o sol envia à terra é muito pequeno em comparação ao calor do próprio globo terrestre, e esse calor enviado pelo sol não seria, por si só, suficiente para manter a natureza viva” (Buffon, 1778, pp. 5-6). O calor interno da Terra, no entanto, estaria se dissipando e os seres vivos, cada vez mais, dependeriam do calor obtido do Sol. Com a junção desse panorama a observações astronômicas sobre a precessão da Terra e a variação de temperatura que esse fenômeno provoca, Buffon enxergou um panorama em que as espécies migravam pelo globo devido ao resfriamento terrestre – e isso justificaria o fato de fósseis de “elefantes”, um animal que hoje habita locais quentes, serem encontrados na Sibéria, por exemplo – e visualizou também um meio de se calcular o tempo que fora necessário para tal resfriamento e migração:

Os astrônomos observaram que a mudança da inclinação da eclíptica é de cerca de 45 segundos por século; a partir disso, supondo-se esse aumento sucessivo e constante, seriam necessários apenas sessenta séculos para se produzir uma diferença de 45 minutos, e três mil e seiscentos séculos para se dar uma inclinação de 45 graus; isso conduziria o 60º grau de latitude ao lugar do 15º, isso quer dizer levar as terras da Sibéria, onde os elefantes de outrora existiram, às terras da Índia, onde eles vivem hoje. Agora, diga-se, basta apenas

pressão “*vitriolique*” por “*sulfurique*” (Lavoisier, 1789, p. 74), bem como toda a normatização dos sulfatos.

¹² Sul da França.

admitir no passado este longo período de tempo para se explicar a localização dos elefantes na Sibéria: a Terra teria mudado sua inclinação há trezentos e sessenta mil anos (Buffon, 1778, p. 22).

Buffon tinha consciência de como esse pensamento poderia soar ousado dentro de um contexto em que a produção de conhecimento estava fortemente vinculada à Igreja Católica. 360 mil anos seria apenas o espaço de tempo entre aquilo que chamava de “quinta era” dentro do tempo de existência do planeta Terra e o estado de tempo atual. A existência do planeta, em si, seria muito mais antiga e isso conflitaria com a estimativa bíblica de cerca de 6.000 a 8.000 anos (Buffon, 1778, pp. 28-29). Mais adiante, nesse mesmo volume, Buffon escreveu, então, uma extensa argumentação sobre o conceito de “dia” a que o Gênesis bíblico estaria se referindo: “não é, portanto, possível que esses dias fossem semelhantes aos nossos [...] Eles significam apenas seis espaços de tempo. O historiador sagrado não determina a duração de nenhum deles” (Buffon, 1778, p. 34). Os “dias”, no Gênesis, seriam não mais que uma expressão simbólica para conferir um sentido à narrativa, pois, sem que os homens tivessem acesso ao que Buffon chama de “verdades astronômicas e físicas” (*Ibidem*, p. 36), uma descrição de tempo literal seria incompreensível para aqueles que lessem o livro sagrado.

Superado esse conflito entre o que as observações de Buffon lhe indicavam e o que as crenças em voga afirmavam, o próximo ponto que nos interessa é a ideia de como os seres vivos teriam passado pelas diferentes épocas da natureza, em uma Terra que está lenta, mas constantemente, dissipando seu calor interno. Deve-se lembrar que, para Buffon, o calor interno da Terra era a principal fonte de energia para a manutenção das formas vivas (Buffon, 1778, pp. 5-6) e, com a diminuição dessa disponibilidade energética, modificações ocorreriam dentro de uma espécie. Eis um trecho que exemplifica isso:

Quando se compara os antigos monumentos [os fósseis] da primeira era da Natureza vivente com seus produtos atuais, vê-se, evidentemente, que a forma constitutiva de cada animal se conservou a mesma e sem alteração em suas partes principais: o tipo de cada espécie não mudou nada; o molde interior conservou sua forma [...] sobretudo com os animais das espécies maiores. [...] Apenas deve-se notar a respeito dessas espécies maiores, tais quais o elefante e o hipopótamo, que comparando seus restos mortais antigos com aqueles de nosso tempo, poderá se observar que esses animais eram, então, maiores do que são hoje: a natureza estava em seu vigor pri-

mordial, o calor interior da Terra cedia às suas produções toda a força, em todos os sentidos possíveis (Buffon, 1778, pp. 26-27).

Dessa forma, Buffon articulou uma das primeiras ideias sobre um mecanismo de transmutação das espécies viventes (especialmente referindo-se aos animais): as espécies teriam perdido seu tamanho e vigor primordial em consequência do resfriamento do planeta, sofrendo um processo de “degeneração”. Reconhece-se, entre os historiadores da ciência, que essa ideia foi primeiramente expressa no quarto volume de *Histoire Naturelle*, no qual Buffon descreveu o burro como não sendo nada além de “um cavalo degenerado” (Buffon, 1753, p. 382; ver também Laissus, 2007, p. 89). Como nota Yves Laissus, em um primeiro momento, Buffon descreveu as espécies organizadas uma em sucessão a outra, em uma escala provocada pelo processo de degeneração; posteriormente, no entanto, esse pensamento se modificou e o naturalista francês passou a admitir que algumas espécies “nobres” teriam sido geradas independentemente das demais, como seria o caso do elefante, do hipopótamo e do leão, por exemplo, que teriam surgido maiores do que os vemos hoje e degenerado para sua composição atual, mas mantendo-se como espécies únicas (Laissus, 2007, p. 90).

Apesar de Buffon ter argumentado de maneira a conciliar a transmutação às visões religiosas, discutindo a questão do tempo de existência da Terra e deixando espaço para episódios de criação de espécies, e apesar de o próprio Buffon ter se apresentado em sua obra como um homem fiel aos preceitos religiosos e respeitoso a Deus (Buffon, 1778, pp. 28-29)¹³, ele ainda foi criticado por aqueles mais devotos, que acusavam sua obra de “tentar romper a ligação entre a ciência e a fé religiosa” (Laissus, 2007, p. 94).

2.1.2 Erasmus Darwin

Médico pouco ortodoxo, do tipo que receitava sexo como tratamento para hipocondria, e declaradamente ateu, Erasmus Darwin (1731-1802 - fig. 6) foi uma figura de destaque na Inglaterra do século XVIII. Como entusiasta no que se referia à

¹³ Gustavo Caponi afirma que essa era simplesmente uma estratégia conciliadora, e que Buffon não se mostrava religioso em outras ocasiões (cf. Caponi, 2010, p. 30).

Figura 6 – Erasmus Darwin (1731-1802)

Fonte: Imagem retirada de <http://www.erasmusdarwin.org>. Acesso em 03 jul. 2016.

Revolução Industrial, ele divulgava ideias de progresso, tendo deixado contribuições para o processo de industrialização por meio de invenções, como por exemplo um moinho de vento horizontal e uma máquina de cópias para cartas e desenhos (Donda, 2015, p. 8; McNeil, 1987, p. 5; Smith e Arnott, 2005, p. 198). Para ele, os estudos da natureza eram um prazer que ganhava vida com as discussões que ocorriam na Sociedade Lunar (Desmond e Moore, 2009, pp. 25-27). Além de participar e dirigir muitas das reuniões dessa sociedade sediada em Birmingham (The Lunar Society, 2016), Erasmus era também membro da *Royal Society of London* (The Royal Society, 2007) e autor de uma obra vasta que versava sobre medicina, educação e história natural, além de ter escrito diversos poemas (cf. lista das obras de Erasmus Darwin em Wilson, 2007). Aqui, destacam-se alguns pontos das obras *Zoonomia* e *The temple of Nature: or, the origin of society: a poem, with philosophical notes* (Darwin, E., 1794, 1803), duas das obras em que, de acordo com a análise de Pedrita Donda

(2015), são aquelas em que Erasmus divulgou suas ideias sobre transmutação com mais ênfase.

Zoonomia é, primeiramente, um tratado sobre a medicina de Erasmus. Ali estão expressas suas ideias sobre movimentos, sistema sensorial, sistema nervoso, sono, sistema circulatório, sistema digestório, temperamentos das pessoas e doenças observadas; mas é lá que se encontram também suas ideias a respeito da transmutação das espécies, concentradas na seção XXXIX, intitulada “*On Generation*”. Erasmus Darwin era um declarado adepto de Buffon, já adotando seus pontos de vista sobre a formação e a idade da Terra em obras anteriores (Garfinkle, 1955, p. 378). Ao longo do *Zoonomia*, mais uma vez Erasmus deixou claro que lera a obra do naturalista francês, e adotou seus pontos de vista e dados em diversas passagens, porém não ficou restrito ao modelo de degeneração concebido pelo naturalista francês. Como discute Ralph Colp Jr. (1986, p. 2), as causas para a transmutação apresentadas no livro de Erasmus poderiam ser diversas, entre elas uso e desuso, seleção artificial, seleção sexual e até mesmo especulações sobre a luta pela existência.

Erasmus também discordou de Buffon quanto à possibilidade da existência de linhagens de seres vivos que tiveram origens totalmente independentes ao longo da história da Terra. Segundo ele, todas as espécies animais teriam derivado de um único “filamento” de vida ancestral, e se modificado, geração após geração, devido a leves mudanças no fluido que envolvia os embriões:

Se o embrião for imerso em um fluido cujo estímulo seja diferente em algum grau daquele que seria natural, [...] as novas irritabilidades ou sensibilidades adquiridas pela acumulação ou crescimento de partes organizadas pode diferir, e então produzir partes que não são similares às do pai.

[...]

Dessa descrição da reprodução, parece que os animais têm uma origem similar, isto é, a partir de um único filamento [...] (Darwin, E., 1794, p. 497-498).

Sem ter fornecido grandes detalhes, na sequência, Erasmus apenas admitiu que as plantas que existem hoje também poderiam ter se derivado de um grupo ancestral (Darwin, E., 1794, p. 499).

Outra grande diferença que pode ser observada entre Buffon e Erasmus Darwin é a argumentação teleológica deste último. Qualquer mudança ocorrida natural-

mente acarreta algum tipo de melhoria para a espécie: “[...] tudo isso exatamente como é observado nas transmutações do girino, que adquire pernas e pulmões quando quer, e perde sua cauda quando essa já não lhe é mais útil” (Darwin, E., 1794, p. 502). Note-se, contudo, que essa é uma teleologia que difere da tradição em que estava inserido John Ray (cf. Solinas, 2015, cap. 3); para Erasmus Darwin, a vontade do animal é que assume o papel de causa final para as formas de seus órgãos:

Um grande anseio de uma parte do mundo animal consistiu no desejo da posse exclusiva de fêmeas, e estes adquiriram armas para combater um ao outro por este propósito [...]
[...] A causa final dessa competição entre os machos parece ser que o animal mais forte e mais ativo propague a espécie, que deverá, então, ser melhorada (Darwin, E., 1794, p. 503).

Além da posse de fêmeas, outros “anseios” que os animais buscariam suprir seriam a necessidade de alimento e a necessidade de segurança, ambos anseios também capazes de modificar e melhorar a espécie (Darwin, E., 1794, p. 503).

Segundo Michale Ruse, Erasmus Darwin não tinha argumentos e fatos sólidos para realizar essas afirmações. Suas ideias seriam, então frutos de uma especulação que empregaria a lógica do progresso – assunto pelo qual ele era apaixonado. Segundo Ruse, “para Erasmus Darwin, o progresso do mundo sociocultural se traduziria como evolução no mundo orgânico” (Ruse, 2016, p. 15). Esse ponto de vista de Ruse é sustentado também pela análise sistemática realizada por Pedrita Donda a respeito do caráter especulativo da obra de Erasmus (Donda, 2015)

Apesar da ampla venda do *Zoonomia*, “imediatamente traduzido para o alemão, francês e italiano” (Woodall, 1884, p. 4), essas ideias sobre a transmutação das espécies não foram bem recebidas. Ideias sobre modificação de espécies eram associadas ao pensamento francês e quem as defendia na Grã-Bretanha costumava ser considerado entusiasta da Revolução Francesa: isso não era um problema a princípio, mas, com o surgimento do império napoleônico e suas guerras para expansão territorial, tudo que se relacionava com a França passou a ser visto com maus olhos (Ruse, 2016, pp. 15-16); como consequência, o sobrenome Darwin ganhou mais um motivo para ser “associado ao ateísmo subversivo” (Desmond e Moore, 2009, p. 32). Erasmus, no entanto, não deixou de divulgar suas ideias: anos mais tarde, voltou a escrever sobre transmutação em uma versão que dialogava mais

com as crenças religiosas e que se destinava a um público não-acadêmico (Browne, 2011, pp 73-75). No canto inicial de *The temple of nature*, ele escreveu:

DEUS, A PRIMEIRA CAUSA!¹⁴ – nesta moradia terrena
A jovem natureza ceceia¹⁵, ela é a criança de DEUS.
De nascimentos embrionários, suas formas variáveis melhoram,
Crescem, conforme vivem, e se fortalecem conforme se movem.¹⁶
(Darwin, E., 1803, p. 19)

Erasmus Darwin parecia querer mostrar aos seus leitores como suas ideias estariam de acordo com a visão ortodoxa de que ciência e religião eram complementares, não contraditórias, e que as investigações científicas confirmariam a verdade das escrituras sagradas (Garfinkle, 1955, p. 376). Em um trecho sobre a geração espontânea, ele escreveu:

A vitalidade espontânea de animais microscópicos

Então, sem pais, por nascimento espontâneo
Surtem os primeiros pontinhos de terra animada
(Darwin, E., 1803, Canto I, linha 227)

¹⁴ (Nota original de Erasmus Darwin) *A[b] Jove principium, musæ! Jovis omnia plena*. VIRGIL. (Tradução livre: De Júpiter começemos, musas! Todas as coisas são plenas de Júpiter. VIGÍLIO) *In him we live, and move, and have our being*. ST. PAUL. (Tradução livre: Nele nós vivemos, e nos movemos, e temos nosso ser. SÃO PAULO.)

¹⁵ (Nota original de Erasmus Darwin) A produção perpétua e o aumento dos estratos de calcário das conchas de animais aquáticos e de tudo aquilo que recai sobre eles, das secreções (*recréments*) dos vegetais e dos animais terrestres, é agora bem entendido a partir de nosso ampliado conhecimento de geologia; e mostra que as partes sólidas do globo estão aumentando gradualmente, e consequentemente que ele [o globo] é jovem, pois as partes fluidas ainda não se converteram, todas, em sólidas. Soma-se a isso que algumas partes da [T]erra e seus habitantes parecem mais jovens que outras partes e outros habitantes; assim, as mais elevadas altitudes das montanhas da América parecem mostrar que o continente é menos antigo que a Europa, Ásia e África, pois seus cumes foram menos desgastados e os animais selvagens da América, como os tigres e crocodilos são considerados como menos perfeitos em relação ao seu tamanho e força, o que os apresentaria como estando, ainda, em um estado de infância ou de aperfeiçoamento progressivo. Por fim, o progresso da humanidade nas artes e nas ciências, que continua lentamente a se estender e ampliar, parece evidenciar a juventude da sociedade humana; enquanto que o estado imutável das sociedades de alguns insetos, como as de abelhas, vespas e formigas, que é comumente atribuído como instinto, parece evidenciar a existência mais longa e a maior maturidade dessas sociedades. O caráter juvenil da [T]erra mostra que ela teve um início, ou nascimento, e é um forte argumento natural evidenciando a existência de uma causa de sua produção, isso é, uma deidade.

(Observação nossa) “Cecear” significa pronunciar os sons de /c/ e /z/ como que com a “língua presa”, isso é, colocando-se a língua entre os dentes. Erasmus Darwin, aqui, faz alusão a uma criança aprendendo a falar.

¹⁶ A tradução apresentada é literal. Apresentou-se, aqui, apenas uma preocupação em conservar o mesmo sentido dos versos, ainda que isso desconstruísse a métrica e as rimas.

E acrescentou, no apêndice:

Preconceitos contra essa doutrina

I. A PARTIR de erros conceituais dos ignorantes ou supersticiosos, tem-se pensado que há algo de profano em falar a favor da produção vital espontânea, como se isso contradissesse a escritura sagrada, que diz que Deus criou animais e vegetais. Eles não se lembram que Deus criou todas as coisas que existe, e que estas têm estado, desde o começo, em um estado perpétuo de melhoria, que se nota a partir do próprio globo, bem como dos animais e vegetais que o habitam. E, por fim, de que há mais dignidade em nossa ideia do supremo autor de todas as coisas quando nós o imaginamos como sendo a causa das causas, do que a causa simples de eventos que vemos [...] (Darwin, E., 1803, Apêndice, p. 1).

Essa obra viria a ser publicada apenas após a morte de Erasmus, mas nem isso e nem os argumentos de Erasmus impediram que o nome Darwin virasse, mais uma vez, alvo de críticas. “Parear-se com monstruosidades absurdas”, “negar totalmente qualquer interferência da deidade na criação e preservação de tudo o que existe”, “desvio do senso comum e da filosofia sã”, “filosofia irreal e ininteligível” e “insulto ao bom gosto e ao bom senso” são alguns dos comentários compilados por Norton Garfinkle sobre as ideias de Erasmus a partir de revistas da época, como *Anti-Jacobin Review* e *The British Critic*¹⁷ (Garfinkle, 1955, p. 386).

2.1.3 Georges Cuvier

Georges Cuvier (1769-1832 - fig. 7) nasceu em Montbéliard, cidade próxima à divisa entre França e Suíça, no ano de 1769. Frequentou a *Hole Karlsschule* (Academia Carolina) em Stuttgart de 1784 a 1788, onde teve contato com a história natural. Em seguida, tornou-se o preceptor de uma família nobre francesa que residia na Normandia, de 1788 a 1794. Ao longo desses seis anos na Normandia, conforme

¹⁷ Revistas conservadoras que apresentavam resenhas sobre as obras lançadas na época. Segundo M. O. Grenby (2004, p. xi), os textos veiculados nessas duas publicações expunham uma posição sempre contrária aos ideais da revolução francesa e a quem se mostrasse a favor deles e buscavam divulgar romances e obras que mantivessem um caráter que valorizasse a monarquia e a igreja como instituições fundamentais de uma nação.

Figura 7 – Georges Cuvier (1769-1832).

Retrato publicado por James Thomson para a coleção *Portrait prints of men and women of science and technology in the Dibner Library*. Disponível em <www.sil.si.edu/DigitalCollections/hst/scietific-identity/fullsize/SIL14-C6-10a.jpg>. Acesso em 06 jul. 2016.

aponta Felipe Faria (2012, cap. 2), Cuvier aprofundou seus conceitos de anatomia comparada e publicou alguns trabalhos de descrição anatômica, como *Mémoire sur les cloportes*, *Anatomie de la Patella comune* e *Observations sur quelques diptères*, todos de 1792. No entanto, ali Cuvier não dispunha nem de uma boa quantidade de espécimes e nem do volume de referências a que gostaria de ter acesso. De alguma maneira, ele compreendeu que, para se dedicar aos estudos da natureza da maneira que almejava, deveria ir para Paris, onde poderia ter acesso ao Gabinete do Rei. Para conseguir um emprego na capital francesa, no entanto, Cuvier precisaria de boas indicações e, para conquistá-las, ele buscou manter correspondência com diversos pesquisadores, mas especialmente com os parisienses (Faria, 2012, p. 62).

Por meio de correspondência, Cuvier discutiu as ideias geológicas de Buffon, teve acesso aos trabalhos dos cristalógrafos e mineralogistas Romé de Lisle (1736-1790), René Just-Haüy (1787-1789) e Jean-Claude Delamétherie. Também por correspondência, manifestou sua vontade de ir a Paris, ousando fazer a proposta de substituir Lacépède, que trabalhara com Buffon no Jardim do Rei e que, em meio ao

desenrolar da Revolução Francesa, estava ocupado como membro da Assembleia Legislativa. Seu pedido foi declinado e, quando o Jardim do Rei foi reestruturado e rebatizado de *Jardin des Plantes*, e o Gabinete do Rei se tornou o Museu Nacional de História Natural, foi Étienne Geoffrey Saint-Hilaire (1772-1844) quem recebeu o cargo almejado por Cuvier (Faria, 2012, pp. 58-61). Os esforços de Cuvier e a qualidade de seu trabalho, no entanto, não passaram despercebidos e, em 1794, em uma sessão da Sociedade de História Natural de Paris secretariada por Saint-Hilaire, ele foi nomeado membro daquela sociedade, da qual também Lamarck fazia parte (*Ibidem*, p. 63).

Uma vez em Paris, Cuvier deu início a uma produção intensa de trabalhos, o que contribuiu para sua rápida ascensão à cátedra de Anatomia Comparada do Museu Nacional. Em seu discurso de posse da cátedra, Cuvier anunciou seus objetivos, criticando e distanciando-se daqueles que queriam “reduzir toda a ciência a sistemas” e que não faziam um real uso de “visões comparativas” (Cuvier, 1795, p. 148). Assim, sem citar nomes de naturalistas, Cuvier já apontava como era avesso à tradição em que Buffon estivera inserido e a que Lamarck buscava dar continuidade. Como aponta Felipe Faria (2012, p. 65), no mesmo ano em que assumira as aulas de anatomia comparada, Cuvier, como fizera Buffon, começou a comparar espécies animais fósseis e viventes para poder, assim, construir uma história da vida na Terra. Ao aplicar seus conhecimentos em anatomia comparada para analisar crânios de um mamute e de um elefante vivente – seres estudados por Buffon e considerados como pertencentes a uma única espécie – Cuvier, com a ajuda de Saint-Hilaire, apoiou-se sobre as diferenças encontradas para afirmar que esses animais pertenciam a espécies diferentes. No ano seguinte, em uma publicação que assinava sozinho, o ataque às ideias de Buffon ficou mais evidente:

[...] Alegar que todos os quadrúpedes podem derivar de uma só espécie, que as diferenças que eles apresentam são apenas degenerações sucessivas, em uma palavra, isso seria reduzir a nada toda história natural, pois que seus objetos não consistiriam senão de formas variáveis e de tipos fugazes (Cuvier, 1796, p. 12).

E o argumento de que as formas viventes e fósseis eram realmente espécies diferentes foi reafirmado e expandido, comparando-se, então, o elefante, o mamute e um fóssil chamado “animal de Ohio”, que Cuvier nomearia de Mastodonte:

1º: O animal cujos restos foram encontrados no Canadá é do gênero do elefante.

2º: Ele difere, por espécie, dos elefantes de hoje e do mamute.

[...]

4º: Essa espécie viveu na América e em muitos lugares do velho mundo.

5º: Enfim, não se encontrou qualquer traço desse animal entre os quadrúpedes que existem nos dias de hoje.

(Cuvier, 1796, pp. 19-20)

Cuvier declarava-se, assim, um fixista. Para ele, formas orgânicas que fossem encontradas apenas no registro fóssil diferiam, em espécie, das formas orgânicas viventes, e não teria havido qualquer tipo de transformação de uma em outra, mas apenas o desaparecimento (ou a extinção) das formas fossilizadas:

Pergunte-se por que se encontram tantos restos de animais desconhecidos, ao mesmo tempo em que não se encontra quase nenhum que se possa dizer que pertença às espécies que conhecemos, e ver-se-á o quão é provável que tais restos tenham pertencido a seres de um mundo anterior ao nosso, a seres destruídos por alguma revolução do globo; seres daqueles que existem hoje preencheram seu lugar, para se ver, talvez um dia, igualmente destruídos e substituídos por outros (Cuvier, 1796, p. 21).

Com tal explicação, Cuvier mostrou-se também um catastrofista – isto é, alguém que imaginava o mundo operando por repentinas revoluções¹⁸ – e deu a entender que ele figurava uma história da Terra em que, outrora, as espécies viventes e fósseis teriam coexistido no tempo, mas não no espaço. Com a morte daqueles seres que viriam a ser fósseis, as demais espécies teriam migrado e habitado a região do globo que, então, estaria vazia. Afirmar que as espécies teriam sofrido algum tipo de modificação, como fizera Buffon, era um erro para Cuvier, endereçando uma crítica carregada de ironia:

[...] Buffon não pode considerar esses objetos [os fósseis; os “monumentos da natureza”] sem aquela inquietude que caracteriza o gênio; sua imaginação, aquecida por tamanho espetáculo, lançou-se no

¹⁸ O termo “catastrofismo” opõe-se a “gradualismo”, que é o pensamento sobre o mundo mudando de maneira lenta e gradual, ao longo de milhões de anos, como Buffon descrevera o resfriamento do planeta. O gradualismo também pode ser exemplificado pelas ideias de Charles Lyell em *Principles of Geology*.

passado, [...] acreditou estar traçando a história quando, na verdade, não produzia, senão, sua própria criação (Cuvier, 1801, p. 254).

Um argumento que parecia apresentar maior resistência às suas afirmações sobre a extinção de espécies inteiras era o de que, talvez, em algum lugar do mundo, poderia se encontrar aquelas espécies tidas como desaparecidas – o argumento do “fóssil vivo”. Cuvier esquivava-se, então, desse criticismo mantendo-se interessado em estudar os grandes quadrúpedes terrestres, grupo de animais menos numeroso e mais fácil de ser avistado (Cuvier, 1801, p. 256). Assim, atacando ideias defensoras da transmutação e protegendo-se contra críticas, Cuvier prossegue publicando o maior número possível de trabalhos, em periódicos diversos que incluíam publicações inglesas e alemãs, diversificando seu público, convidando naturalistas a replicarem seus métodos e testarem seus resultados (Faria, 2012, pp. 66-98). O resultado de tal “campanha”, como expõe Felipe Faria, foi a conquista de respaldo e a construção de uma rede de colaboração internacional (*Ibidem*, p. 104).

Cuvier tornara-se uma figura notória e elogios do tipo “Cuvier encontrou a razão dessa singularidade...”, “Cuvier, assim, bem o demonstrou, ...” “o célebre Cuvier afirma...” “o *savant* Cuvier reconheceu...” “Cuvier aumentou muito nosso conhecimento...” e “A que merece maior consideração [...] é aquela do Professor Cuvier”, compilados por Felipe Faria (2012, pp. 105-106) marcavam a primeira década do século XIX e a consolidação de um panorama fixista que era abraçado pela maior parte dos naturalistas.

2.1.4 Jean-Baptiste Pierre Antoine Monet, Chevalier de Lamarck

Lamarck (1744-1829 - fig. 8) nasceu em uma família numerosa. Ele era o caçula de um grupo de 11 irmãos. Sua família tinha ascendência nobre, mas já estava bastante empobrecida na ocasião de seu nascimento. Seu pai e seus irmãos eram militares e, como relata Lilian Martins (1993, p. 1), Lamarck buscou seguir o exemplo da família quando o seminário de jesuítas em que estudava fechou, em 1761. Participou, então, da Guerra dos Sete Anos e serviu ainda por mais cinco anos, até 1768 em diversos fortes na região do Mediterrâneo. Afastado do serviço militar por questões de saúde, Lamarck trabalhou durante um ano em um banco em Paris. Estudou,

Figura 8 – Jean-Baptiste Antoine Pierre Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829).

Imagem publicada por Jules Pizzeta em *Galerie des naturalistes*. Paris: Hennuyer, 1893.

então, medicina por quatro anos, mas não se graduou. Nesse período, de 1768 a 1772, quando tinha entre 24 e 28 anos, foi que Lamarck iniciou sua formação científica em história natural, assistindo ao curso de botânica ministrado no Jardim do Rei por Louis Guillaume Le Monnier (1717-1799) e desenvolvendo “de forma autônoma e diletante, estudos sobre botânica, meteorologia e química” (Martins, L., 1993, p. 2).

Enquanto estudava no Jardim do Rei, Lamarck adotava a postura ensinada por Bernard de Jussieu (1704-1799), que criticava o sistema de classificação de Linnaeus (1707-1778), Lamarck desenvolveu, então, seu próprio sistema de classificação e identificação de plantas, que aplicou na construção de seu catálogo da flora francesa (Lamarck, 1778). A produção chamou a atenção de Buffon, que ajudou Lamarck a imprimir seus três volumes pela imprensa real e o indicou para o posto de Botânico Adjunto da Academia de Ciências de Paris (Martins, L., 1993, p. 3). Buffon já apreciava o trabalho de Lamarck há algum tempo e, desde 1766, o havia contratado como tutor de seu filho (Caponi, 2010, p. 30). Assim, pode-se dizer que os dois naturalistas eram próximos, e supor que devessem conversar sobre seus trabalhos. É fato que havia confiança entre ambos, a ponto de Lamarck tornar-se “Botânico do Rei e guardião do herbário do Jardim do Rei”, após a morte de Buffon, tanto pela

relação que tivera com o grande naturalista quanto devido à indicação direta de Jacques-Julien Houton de La Billardière (1755-1834), substituto de Buffon como superintendente (Martins, L., 1993, p. 4; Burkhardt, 1970, p. 279).

Lamarck foi “Botânico do Rei e guardião do herbário do Jardim do Rei” de 1789 a 1793, quando, em consequência da Revolução Francesa e do fim da monarquia, o Jardim do Rei foi fechado e reorganizado no Museu Nacional de História Natural. Lamarck tinha prestígio científico (Martins, L. 1993, p. 4), mas não político: Lamarck já fora vítima de “contradições”, “inveja” e “intriga” (Lamarck, 1789, p. 3), mas, não obstante, ele “expressava seus pontos de vista de maneira atrevida, sem os acomodar aos gostos dos vários poderes que passaram sucessivamente diante de si” (Raspail, 1830, p. 159). Não é de se estranhar, portanto, que tenha deixado de ser indicado para qualquer das duas cadeiras de Botânica que estavam disponíveis no novo museu. Essas foram preenchidas por Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836) e por Robert-Louis Desfontaines (1750-1833), naturalistas que prosseguiriam os estudos em botânica abandonando o sistema de classificação de Lamarck e retomando ideias de Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708). Para Lamarck, como aponta Lilian Martins (1993, p. 4-6), chegou a indicação para que ocupasse a cadeira de “insetos, vermes e animais microscópicos”, um grupo de seres vivos ainda pouco estudado.

Aos 49 anos, Lamarck se viu, então, tendo de mudar radicalmente seu rumo de pesquisa e especialização. Lilian Martins (1993, p. 4) explica que esse tipo de mudança compulsória de carreira não ocorreu apenas com Lamarck, mas também com outras figuras de respaldo intelectual, como Louis Daubenton (1716-1799), que era o próprio diretor do Museu e teve de se transferir da área de anatomia para a de mineralogia, e Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, que passou da cristalografia para a zoologia dos chamados “animais superiores”.

Nessas novas circunstâncias, a primeira preocupação de Lamarck foi se apropriar da grande variedade de animais inferiores e dos métodos de estudo desse grupo. 1794 foi o ano em que, efetivamente, Lamarck começou a trabalhar em seu novo cargo, e foi o ano também em que Georges Cuvier chegou a Paris, divulgando suas técnicas de anatomia comparada. Ambos eram membros da Sociedade de História Natural de Paris e essa proximidade gerou a oportunidade para que os dois naturalistas compartilhassem seus conhecimentos: “Lamarck utilizou os estudos

anatômicos de Cuvier, como este, por sua vez, utilizou os estudos de sistemática de Lamarck” (Martins, L., 1993, p. 6).

No ano seguinte à sua nomeação como professor de zoologia, Lamarck foi também apontado como membro da classe de Botânica e Física Geral da Academia de Ciências, do que ele tirou proveito para publicar, nos anos subsequentes, alguns ensaios dentro da área de física geral, uma vez que, desde a década de 1770, dedicava-se também à meteorologia e à química (Martins, L., 1993, p. 5). Segundo Richard Burkhardt (1970, p. 280-282), as ideias de Lamarck confrontavam a nova química de Antoine Lavoisier (1743-1794), que já vinha sendo bem recebida, o que também contribuiu para que ele recebesse pouca atenção da comunidade científica. Essa situação perdurou até 1801, quando iniciou suas publicações em zoologia, divulgando seu *Système des animaux sans vertèbre*, no qual, mais uma vez, propunha romper com ideias e sistemas já estabelecidos.

A primeira inovação sistemática proposta por Lamarck foi a divisão do grupo de animais em função da presença e ausência de vértebras, nomeando dois grandes grupos, dos vertebrados (com vértebras) e dos “invertebrados” (sem vértebras), termo cunhado por ele:

Há vários anos eu chamo a atenção, em minhas aulas no Museu, que a consideração da presença ou ausência de uma coluna vertebral no corpo dos animais divide todo o reino animal em duas grandes divisões muito distintas uma da outra, e que se pode, em certo sentido, considerar como duas grandes famílias de primeira ordem. Eu creio ser o primeiro que estabeleceu essa distinção importante, sobre a qual parece que nenhum naturalista pensou. Ela agora é adotada por vários que a apresentam em suas obras, assim como algumas de outras de minhas observações, sem que lhes indiquem a fonte.

Todos os animais conhecidos podem, então, ser discernidos de uma maneira notável:

1º. Em animais com vértebras

2º. Em animais sem vértebras

(Lamarck, 1801, p. 6-7)

E a segunda grande inovação foi uma reorganização na classificação do grupo dos animais que Lamarck reuniu nos invertebrados. A classificação vigente na época fora proposta por Linnaeus (1707-1778) em seu *Systema Naturae*. Essa obra passara por 12 edições sob a revisão criteriosa de Linnaeus e, na época de Lamarck, circulava uma 13ª edição, editada por Johann Friedrich Gmelin (1748-1804).

Essa era uma obra volumosa, composta por três tomos, sendo o primeiro dedicado ao Reino Animal, organizado em seis volumes, com um total de 4.120 páginas; o segundo tomo era dedicado ao Reino Vegetal, organizado em dois volumes que totalizavam 1.661 páginas; e o terceiro tomo, com um único volume de 476 páginas, era dedicado ao Reino Mineral.

Dentro do chamado Tomo Primeiro, os animais eram divididos em Mammalia (219 páginas), Aves (800 páginas), Amphibia (93 páginas), Pisces (391 páginas), Insecta (1.504 páginas) e Vermes (889 páginas) (Linnaeus, 1788). Como se observa, os grupos dos chamados “insetos” e “vermes” eram bastante amplos, contendo uma diversidade rica de seres vivos. Tal variedade de organismos reunida em dois grupos tão vastos foi criticada por Lamarck (1801, p. v), que se dispôs a reorganizá-los: em *Système des animaux sans vertèbre*, os invertebrados foram divididos em sete classes, ordenadas da mais complexa para a mais simples: moluscos, crustáceos, aracnídeos, insetos, vermes, radiários e pólipos (Lamarck, 1801, p. 35), sendo que os moluscos seriam os animais mais próximos dos peixes (*ibidem*, p. 32).

O foco dessa obra de Lamarck era descrever seu novo sistema de classificação dos animais, mas, em suas próprias palavras, ele aproveitou o discurso de abertura para “deixar entrever algumas visões importantes e filosóficas” (Lamarck, 1801, p. vi). Dentre essas visões, destaca-se a consideração sobre a natureza sendo organizada em corpos brutos, sem vida, e em corpos vivos (*Ibidem*, p. 3), sendo que o que define a transição de um para outro é o que Lamarck chamou de “animalização” ou “animalidade” (*animalisation / animalité*). Lamarck defendeu, então, a ideia de que os animais invertebrados poderiam ser estudados e examinados até que se chegasse ao mais simples deles, onde se identificaria a animalização acontecendo (*Ibidem*, pp. 11-12). Dentro dessa nova forma de ver a história natural, Lamarck conseguiu pensar que, em um passado distante na história da Terra – conceito estabelecido pelas obras de Buffon e que vinha se consolidando pelas obras de Cuvier (Buffon, 1778; Faria, 2012, pp. 20-21) –, essa forma de vida mais simples teria sido a primeira a surgir, e dela derivaram-se as demais formas viventes, modificando-se, uma a partir da outra, devido a toda uma gama de fatores:

Os principais [fatores que causam mudanças nas espécies] nascem da influência dos climas, das variações de temperatura da atmosfera e de todos os meios ambientes, da diversidade de lugares, nos quais hábitos, movimentos, ações, enfim, os modos de viver, de se conser-

var, de se defender, de se multiplicar, etc. etc. Assim, como resultado de suas influências diversas, as capacidades se estendem e se fortificam pelo uso, diversificam-se devido aos novos hábitos conservados por longo tempo; e sem que se perceba, a conformação, a consistência, em uma palavra, a natureza e o estado das partes, bem como dos órgãos, tomam parte dos desenvolvimentos de todas essas influências, conservam-se e se propagam pela geração¹⁹ (Lamarck, 1801, p. 13).

Dentro desse panorama, Lamarck via os animais em uma escala natural, em que os mais simples (os pólipos) teriam um menor número de “capacidades da animalidade” e os animais maiores e mais complexos (os mamíferos) reuniriam mais dessas capacidades:

[...] os animais vertebrados, e entre eles os mamíferos, apresentam um máximo no número e na reunião das principais capacidades da animalidade; enquanto que os animais sem vértebras, e sobretudo aqueles da última classe (os pólipos) oferecem, como vocês o verão, o mínimo delas (Lamarck, 1801, pp. 15-16).

Para Lamarck, o aumento de complexidade seria uma tendência inexorável aos seres vivos, mais do que uma simples observação na classificação. Tal tendência seria tanto responsável pelo crescimento de um indivíduo até sua forma madura (ontogênese) quanto seria transposta de uma geração para outra e de uma espécie para outra (filogênese). Como aponta Lilian Martins, Lamarck assumiu isso como uma lei da natureza, fruto do que chamou “poder da vida”, mas não forneceu maiores explicações sobre o assunto (Martins, 1993, pp. 269-271)

Ainda outra visão “filosófica” que Lamarck tem da natureza é a de que tudo se organiza com perfeição, sem que, na maioria dos casos, haja espaço para extinções:

Por meio dessas sábias precauções da natureza, tudo permanece em ordem. Os indivíduos se multiplicam, propagam-se, definham de diferentes maneiras; nenhuma espécie predomina ao ponto de causar a ruína de uma outra, exceto, talvez, dentro das primeiras classes [vertebrados], nas quais a multiplicação dos indivíduos é lenta e difícil; e por conta desse estado das coisas, percebe-se que, em geral, as espécies se conservam (Lamarck, 1801, p. 23).

¹⁹ (Observação nossa) Lamarck adotou o termo “geração” (*génération*) para se referir à reprodução (sexuada ou não) dos seres vivos.

Nessa obra, Lamarck rompeu com o fixismo – que ele mesmo adotara até então (cf. Martins, L., 1993, p. 6; Solinas, 2015, p. 87) – e passou a ser declaradamente contrário a Georges Cuvier, em cujos métodos e sistemas, até então, se inspirava (Corsi, 1988²⁰ *apud* Solinas, 2015, p. 154, nota 13). Segundo Burkhardt (1972, p. 420-422) algo que motivara Lamarck a essa atitude fora o debate que vinha ocorrendo na década de 1790 a respeito da possibilidade de as conchas fósseis terem ou não descendentes vivos. Jean-Guillaume Bruguière (1749-1798) vinha trabalhando nessa questão, mas com sua morte em 1798, recaíra sobre Lamarck – considerado o especialista em conchas do Museu Nacional de História Natural – resolver essa questão. A explicação proposta para a extinção seria alguma catástrofe, algo que Lamarck não podia conceber em sua maneira de enxergar a natureza, e assim ele passou a promover uma visão de progressão das espécies que sustentaria uma natureza marcada pela ordem e equilíbrio e a atacar ferrenhamente a ideia de catástrofismo:

Uma reviravolta universal, que necessariamente não regulariza nada, confunde e dispersa tudo; é uma maneira muito cômoda para esses naturalistas que querem explicar tudo, e que não se dão ao trabalho de observar e estudar a marcha que a natureza toma a respeito de suas produções e de tudo o que constitui seu domínio (Lamarck, 1801, p. 407).

Essas afirmações e essa filosofia divulgada por Lamarck parecem ter despertado interesse de jovens naturalistas, pois as inscrições para o curso que ministrou, no ano seguinte, chegaram a 131 nomes – o maior número de sua carreira e 61 nomes a mais do que havia sido registrado no início de 1801 (Bange e Corsi, 2008) – e assim Lamarck continuou a divulgar e aprimorar sua classificação de animais invertebrados, que passariam a compreender o grupo dos anelídeos como o segundo grupo de invertebrados mais complexo, entre os moluscos e os crustáceos (Lamarck, 1802b, p. 24). Também foi nesse ano que Lamarck publicou pela primeira vez, na obra *Hydrogéologie*, sua proposta de emprego do termo “biologia” [*biologie*]

²⁰ CORSI, Pietro. The Age of Lamarck. Evolutionary Theories in France 1790/1830. Berkeley: University of California Press, 1988.

para referir ao conhecimento sobre uma “parte essencial” da “física terrestre”, aquela dedicada ao estudo dos “corpos vivos” (Lamarck, 1802a, p. 8)²¹.

Foi na obra *Recherches sur l'organisation des corps vivans* que, como aponta Lilian Martins (1993, p. 23), Lamarck discutiu “os vários órgãos e funções que vão sendo perdidos dos mamíferos até os pólipos e que, em ordem inversa, teriam ido aparecendo na história da natureza”. Também foi nessa obra que ele explicou como se daria a transição da matéria bruta para a matéria vivente e caracterizou os animais como pertencentes a uma escala de progressão (Lamarck, 1802b, p. 83). Para Lamarck, um dos principais fatores a influenciar a modificação das espécies era o ambiente e o clima. Seu interesse pelos efeitos do clima sobre os seres vivos é apresentado ao público a partir de 1778, com a publicação de *Flore Française*: nessa obra Lamarck salientou a importância do ambiente – e especialmente do clima – para o desenvolvimento dos vegetais e “constatou que duas sementes da mesma planta, crescendo em meios diferentes, acabavam por tornar-se aparentemente espécies diferentes” (Martins, L., 1993, p. 10). Tal interesse entre clima e seres vivos continuou a ser manifestado em seus estudos meteorológicos, entre 1800 e 1810, aos quais Lamarck incorporou uma perspectiva de busca pela presença de leis na natureza: uma abordagem comum aos pensadores da época, adotada inclusive por Cuvier (Martins, L., 1993, p. 13; Cuvier, 1817).

Lilian Martins, citando Leslie Burlingame²², indica que foi durante os anos de 1800 e 1802 que Lamarck realizou a maior expansão de suas ideias sobre a progressão dos animais. Sua próxima grande obra, *Philosophie zoologique*, publicada em 1809, se apresentaria mais com um caráter de compilação e organização dessas ideias, podendo ser descrita como uma “revisão ampliada” das *Recherches sur l'organisation des corps vivants* (Martins, L. 1993, pp. 22-25). Nas duas obras Lamarck retomou sua classificação dos animais, agrupando-os em 12 “massas”²³ na primeira (Mamíferos, Aves, Répteis, Peixes, Moluscos, Anelídeos, Crustáceos, Aracnídeos, Insetos, Vermes, Radiários e Pólipos – na ordem didática; inversa à ordem natural) (Lamarck, 1802, pp. 15-36) e acrescentando mais dois grupos na segunda

²¹ Segundo Joanne Despres, editora do dicionário online Merriam Webster, o termo “biology” já aparecera em 1799, na obra *Contributions to Physical and Medical Knowledge*, de Thomas Beddoes (1760-1808) (Comunicação pessoal via email em 13 de julho de 2016).

²² BURLINGAME, Leslie. J. Lamarck. In: Gillispie, Charles G. (ed.). **Dictionary of scientific biography**. New York: Charles Scribner's sons, 1981. Vol. 7, pp. 584-594.

²³ Classificação equivalente às classes ou ordens atuais.

publicação: os infusórios, na base dessa organização, e os cirripédios, entre os anelídeos e os moluscos (Lamarck, 1809, pp. 277-280). Ainda em ambas as publicações, Lamarck oferece evidências para sua proposta de progressão (Lamarck, 1802, pp. 44-51; 1809, pp. 211-214).

Para Lamarck, tais evidências seguiam um padrão bem definido, capaz de conduzir à formulação de quatro leis, cuja formulação foi ligeiramente distinta entre suas obras publicadas, mas que expressam as seguintes ideias: 1) tendência natural para o aumento da complexidade; 2) o meio influencia a modificação dos animais, favorecendo o surgimento de novos órgãos de acordo com as necessidades que impõem a esse animal; 3) O desenvolvimento do órgão – ou seu desaparecimento – é proporcional à frequência de sua utilização²⁴; 4) as características adquiridas ou alteradas em uma geração seriam transmitidas à próxima geração²⁵ (Martins, L., 1993, pp. 47-48 e pp. 269-277). Apesar de essa formulação ter sido pautada em evidências e em leis, Lamarck angariou muitos críticos e, entre eles, destacamos Georges Cuvier.

Lamarck considerava as espécies, como tratadas nos livros de história natural, um conceito criado pelo naturalista em seu empenho para organizar a natureza (Martins, L. 1993, p. 38); Cuvier, por outro lado, mantinha uma visão de que as espécies eram, de fato, uma criação natural e algo que existe na natureza e que é fixa. Era sob essa perspectiva que Cuvier também investigava qual seria o conjunto de leis que definiriam as espécies e sua presença e distribuição sobre a Terra: após 30 anos de estudo de anatomia comparada, Cuvier passou a enxergar na estrutura dos seres vivos um conjunto de regras que determinam sua constituição. Essas não seriam, senão, uma derivação das leis da física; de fato, para Cuvier, a história natural como um todo poderia ser vista como uma física particular, em que ainda atuariam as mesmas regras válidas para a mecânica, hidrostática, óptica, entre outras áreas (Cuvier, 1817b, pp. 2-3). Os estudos do naturalista o haviam levado a perceber que certos ossos, via de regra, encaixavam-se entre si. A presença de um osso com certa conformação poderia lhe ajudar a prever como deveria ser um outro osso. Algu-

²⁴ Esse princípio de “uso e desuso” não é, na verdade, uma inovação de Lamarck; mas algo estabelecido por pensadores de gerações anteriores e que continuaria a ser utilizado mesmo por aqueles que discordavam de Lamarck.

²⁵ Como o terceiro ponto, este não é exclusivo de Lamarck, tendo sido investigado por pensadores anteriores e posteriores a ele.

mas estruturas seriam mais variáveis entre as espécies, outras mais constantes; estas ajudariam a determinar os grupos maiores, como classes e ordens, e aquelas, a determinar grupos menores, como gêneros. As regras (ou leis) que determinam esses fatores eram chamadas “condições de existência” (*Ibidem*, pp. 9-10).

As diferenças entre Lamarck e Cuvier estendiam-se também a respeito de como o ambiente se alterava ao longo do tempo e sobre como isso interferia nos seres vivos: para Cuvier, o próprio planeta teria certa constância em sua paisagem e apenas uma grande catástrofe seria capaz de alterar o ambiente significativamente – e isso levaria as espécies que ali habitavam à extinção (Cuvier, 1796). Já para Lamarck, o mundo, assim como os seres vivos, estava sempre mudando, em um ritmo lento, capaz de conduzir as espécies a se modificarem, mas nunca a se extinguirem (Lamarck, [1809] 1830). Os naturalistas e geólogos que acompanhavam os debates entre esses dois pontos de vista muitas vezes optaram por adotar as ideias de Cuvier, que criou, assim, uma grande rede de colaboradores, constantemente enfatizada na obra de Felipe Faria (2012). Lamarck, no entanto, não deixou que isso interrompesse seu trabalho, e, em *Philosophie zoologique*, foi enfático contra seu rival intelectual:

Se existem espécies realmente perdidas, elas só podem estar, sem dúvida, entre os grandes animais que viveram sobre as partes secas do globo, onde o homem, pelo império absoluto que exerce, pode levar à destruição de todos os indivíduos que não tenha desejado conservar ou reduzir à domesticação. Disso, nasce a possibilidade de que os animais dos gêneros *paleotherium*, *anoplotherium*, *megalonix*, *megatherium* e *mastodon*, do Senhor Cuvier, e quaisquer outras espécies de gêneros já conhecidos, não estejam mais existentes na natureza: ainda assim, isso não é mais que uma simples possibilidade (Lamarck, [1809] 1830, p. 92).

Como relata Felipe Faria, a estratégia de Cuvier para responder a esse tipo de crítica – que ele também recebia de Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819) – foi não adereçar seus rivais diretamente, mas insistir em divulgar o “poder heurístico do método anatômico-comparativo [...] para a produção de conhecimento geológico” (Faria, 2012, p. 96). A longo prazo, essa estratégia se mostraria mais eficiente e iria angariar mais seguidores.

Depois de *Philosophie zoologique*, Lamarck ainda publicou *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (1815-1822) e *Système analytique des connaissances positives de l'homme* (1820); a primeira, uma extensa enciclopédia em sete volumes

sobre invertebrados; o segundo, um livro sobre reflexões e retomadas de suas principais ideias (Martins, L. 1993, pp. 28-34). Lamarck faleceu aos 85 anos de idade, já cego e tendo deixado uma grande família. Pode-se dizer que um de seus grandes legados foi sua sistematização dos invertebrados, pela qual, apesar das disputas, mesmo Cuvier sempre teve em grande apreço (*Ibidem*, p. 19); e, sobre suas ideias a respeito da progressão das espécies, apesar de elas não terem alcançado grande sucesso, nunca deixaram de ser consideradas, passando a ser retomadas por pensadores como Robert Edmond Grant (1793-1874) e Robert Chambers (1802-1871).

2.1.5 William Paley

William Paley (1743-1805 - fig. 9) foi um teólogo, arqui-diácono da Igreja Anglicana, acadêmico e reitor da Universidade de Cambridge. Entre suas obras, podemos citar *The principles of moral and political philosophy* (1785), *A view of the evidences of Christianity* (1795) e *Natural Theology: or, evidences of the existence and attributes of the deity, collected from the appearances of nature* (1802), à qual daremos maior atenção. A influência de Paley dentro dos círculos acadêmicos foi tamanha que suas obras costumavam ser leitura obrigatória para os *College* e *University examinations* (Fyfe, 1997, p. 321).

A aproximação de Paley com a História Natural se deu por meio do contato com a obra *The Wisdom of God*, de John Ray. Segundo Norton Gillespie, (1987, p. 1), Ray abriu a possibilidade de Paley criar um vínculo entre história natural e teologia natural; no entanto, para Charles Raven, Paley fez bem mais do que isso e plagiou a obra de Ray (cf. Solinas, 2015, p. 65): William Paley apoiou-se nos dados fornecidos por John Ray sobre a história natural e, sem fazer referência a esse autor, os reorganizou e reapresentou embrenhados com uma retórica teológica e teleológica no livro *Natural Theology*, cuja proposta era provar a existência de Deus por meio de argumentos facilmente observáveis a qualquer leitor (Shapiro, 2015, p. 70).

Figura 9 – William Paley (1743-1805).

Fonte: Imagem de domínio público. Retirada de <<https://evolutionanimation.wordpress.com/tag/paley/>>. Acesso em 13 jul. 2016.

Segundo Paley, tudo o que existe na natureza foi projetado por um ser inteligente, que articulou cada parte do mundo natural para que se encaixasse com as demais e promovesse um mecanismo de funcionamento integrado. Paley comparou esse trabalho atribuído a Deus ao trabalho de um relojoeiro:

Suponha que eu tenha achado um relógio no chão. [...] Quando vamos inspecioná-lo, percebemos que suas diversas partes são concebidas e montadas para um propósito, por exemplo, que elas são assim formadas e ajustadas para produzir um movimento e este movimento é regulado para nos mostrar a hora do dia. [...] Uma vez observado esse mecanismo, [...] creio que a inferência é inevitável: o relógio tem que ter sido feito por alguém; deve haver existido, em algum momento, em algum lugar, um artífice ou artífices que o fizeram para o propósito ao qual vemos que se destina; alguém que compreendeu sua construção e imaginou seu uso (Paley, [1802] 1837, pp. 5-6).

Esse é um excerto retirado da abertura de *Natural Theology*. A cada capítulo subsequente, Paley buscou apresentar exemplos de órgãos e estruturas dos seres vivos, explicando seu funcionamento e questionando o leitor por que, ao se observar

esses órgãos, estruturas e seres vivos na natureza, não se deveria aplicar o mesmo raciocínio; por exemplo, resgatando a discussão sobre a origem do olho, proposta por John Ray, Paley indicou que esse órgão prestaria testemunha à existência de um *designer* tanto quanto um telescópio deveria fazer (Ruse, 2016, p. 12). Essa retórica chamou a atenção do público leigo e também de muitos naturalistas – especialmente aqueles que eram vinculados à Igreja Anglicana –, que passaram a defender a associação entre a história natural e a teologia natural no início do século XIX (Gillespie, 1987, p. 1) e essa obra de Paley, como já acontecia com outras do autor, passou a integrar “parte significativa” do currículo oferecido em Cambridge (Browne, 2011, p. 142 e p. 146). Em consequência, também o fixismo, defendido por Georges Cuvier e seus colaboradores, ganhou força (Ruse, 2016).

Paley defendia ainda que a teleologia expressa em sua argumentação, e observada na natureza, era caracterizada por “estabilidade, hierarquias intrínsecas e disposições ordenadas que refletiam a estrutura social e moral da Grã-Bretanha”. Isso chamou a atenção daqueles que “eram favoráveis à estabilidade social e à preservação do *status quo* político”, tornando-se uma ideologia entre as classes dominantes britânicas e entre os acadêmicos vinculados a Cambridge. Essa lógica, aos olhos de estudantes da universidade, como viria a acontecer com Charles Darwin, era “irresistível” (Browne, 2011, pp. 195-196).

Em adição, Paley expôs também uma argumentação que atacava as ideias de Buffon e, no mínimo, lançava dúvidas sobre as de Erasmus Darwin (Shapiro, 2015, pp. 71-72). Na Inglaterra, as defesas sobre a transmutação, que justamente se pautavam em Erasmus Darwin e em Lamarck, começaram a ser ofuscadas e, na primeira parte do século XIX, elas seriam sustentadas por um número cada vez menor de pessoas, como Robert Edmond Grant (1793-1874), professor da Universidade de Edimburgo que costumava viajar a Paris, onde era conhecido, e tinha contato direto com a progressão dos animais defendida pelo naturalista francês (Desmond e Moore, 2009, p. 54). Essa defesa da modificação das espécies não chegava a abalar a visão teológica dos intelectuais de Cambridge. Mesmo após a morte de Paley, em 1805, seu legado era sólido e, segundo Adam Shapiro, só seria seriamente desafiado pelos trabalhos de Darwin publicados na segunda metade do século XIX – e, mesmo assim, esse desafio não seria proposital (Shapiro, 2015, p. 68 e pp. 72-73).

2.1.6 Robert Chambers

Robert Chambers (1802-1871 – fig. 10), escocês nascido na pequena cidade de Peebles, era conhecido em sua época por seus trabalhos como editor: desde os 17 anos, ele e seu irmão, William, auxiliavam no processo de publicação de *Patriot*, um jornal com visões políticas descritas como “radical” por James Secord: “o periódico advogava o sufrágio universal como o único remédio contra o regime corrupto e tirano” que estava instaurado na época (Secord, 1994, p. xix). Segundo Secord, logo os irmãos teriam percebido o perigo de terem seus nomes associadas a tais visões e se desvincularam do *Patriot*. Em 1821, no entanto, eles deram início ao seu próprio jornal, o *Kaleidoscope*, escrito quase que inteiramente por Robert. Foi também por meio do *Kaleidoscope* que Robert Chambers começou a divulgar seus primeiros manuscritos em ciência, sendo o primeiro intitulado “*Vindications of the World and of Providence*”, uma “cosmologia Tory”, segundo James Secord, que lhe serviu bem e chamou a atenção de patrocinadores (Secord, 1994, p. xix).

Figura 10 – Robert Chambers (1802-1871).

Fotografia tirada por volta de 1863. Fonte: domínio público, retirada de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robert_Chambers,_publisher,_ca1863.jpg>. Acesso em 14 dez. 2017.

Conforme obtinha sucesso e lucrava com suas publicações, Chambers migrou de círculo social, abandonando suas influências Tory, alinhados à pequena nobreza do campo, às classes mercantes e grupos administrativos oficiais, e se incorporando aos círculos Whig, que representavam os interesses de dissidentes religiosos, industriais e outros que buscaram reformas eleitorais, parlamentares e filantrópicas (Encyclopædia Britannica, 2017). Em 1832, os irmãos Chambers deram início à publicação de um novo jornal: o *Chambers's Edinburgh Journal* que, “embora ostensivamente apolítico, advogava progresso, educação secular, economia vinculada à política e os interesses da classe média” (Secord, 1994, p. xx). Segundo Janet Browne, o público do *Chambers's Edinburgh Journal* era ávido e autodidata, sempre procurando por leituras sadias e instrutivas a preços acessíveis – o que o *Journal* supria com o auxílio da prensa a vapor e por meio da economia em figuras (Browne, 2011, p. 627; Secord, 1994, p. xx).

Com seu jornal, Robert Chambers tornou-se bastante influente na opinião pública. A época era de um crescente interesse da população em geral pelas ciências e Chambers, com sua paixão pela geologia, mostrava-se capaz de atender a essa demanda: na época, Chambers declarou apoio a Lyell e criticou Lamarck (Browne, 2011, p. 627 e 630). Ao longo do tempo, os interesses de Chambers pela ciência ficaram mais amplos e suas visões passaram a mudar: ele voltou-se para os estudos da gestação, do desenvolvimento, de monstruosidades e do progresso das espécies (Browne, 2011, p. 630; Secord, 1994, p. xxxvii).

A obra de Chambers para a qual chamamos atenção, no entanto, seria publicada apenas em 1844, de maneira anônima e jamais reconhecida pelo próprio Chambers: *Vestiges of the Natural History of Creation*. Não fosse por seu amigo, Alexander Ireland (1810-1894), muitas pessoas não saberiam quem realmente havia escrito *Vestiges*. O livro, sem o nome de um autor em sua capa, chamava a atenção só por isso. Ao lê-lo, as pessoas viam que a ideia de progresso era exaltada como uma lei natural – um raciocínio frequente no contexto de revolução industrial – e, assim, desconfiava-se que a obra poderia ter sido escrita por qualquer um dos grandes intelectuais da época: Charles Lyell, Charles Darwin, ou o próprio Chambers (Ruse, 2016, p. 16; Secord, 1994, p. vxiii e xl).

Especificamente sobre o progresso dos seres vivos, o *Vestiges* conseguiu reunir um bom apanhado de conhecimentos produzidos até então. Sem discordar to-

talmente de nenhum autor citado, a obra parece ter por intenção conciliar os diferentes pontos de vista sobre a transmutação das espécies; inclusive pontos de vista teológicos. Vejamos um exemplo:

Mais cedo, neste século, M. Lamarck, um naturalista do mais alto caráter, sugeriu uma hipótese de progresso orgânico que, devidamente, incorreu em forte ridicularização, embora contenha um brilho de verdade. [...] Ele tinha as leis do desenvolvimento orgânico conhecidas em seu tempo [...] Eu vou além do filósofo francês, chegando a um ponto muito importante: a concepção original Divina de todas as formas de seres, na qual essas leis naturais atuaram apenas como instrumentos de trabalho e de realização (Chambers, R., [1844] 1994, pp. 230-231).

Além de somar as ideias de Lamarck às ideias religiosas, Chambers as somou à possibilidade de extinção e incorporou o conceito de eras geológicas: uma era descrita em cada capítulo na primeira parte de seu livro. Junto a essas ideias, adotou, quando julgou pertinente, a classificação biológica empregada por Cuvier que, aos olhos de Chambers, serviu de base para o panorama geral de progresso dos seres vivos. Uma outra proposta de classificação que disputava espaço na época, o sistema quinário do entomologista William Sharp Macleay (1792-1865) foi discutida e adotada quando pareceu mais útil, fornecendo, nas palavras de Chambers, “mais clareza e associação entre os seres vivos” (cf. Chambers, R., [1844] 1994, 94-133 e pp. 236-276).

A leitura de *Vestiges*, reunindo todos esses dados, despertou curiosidades e críticas, como amplamente discutido por James Secord (1994). Algumas críticas ferrenhas, no entanto, que não foram amplamente difundidas da época, foram proclamadas por Charles Darwin em anotações pessoais e cartas a amigos. Segundo Adrian Desmond e James Moore (2009, pp. 341-344), Darwin teria julgado a obra de Chambers como um trabalho amador, que dificultaria sua intenção de tratar o tema com seriedade (*Idem*). Amador ou não, Chambers se aproximara muito de seus métodos e conclusões, discutindo a possibilidade de espécies serem geradas em consequência da influência do homem (Chambers, R., [1844] 1994, pp. 183-184), e discutindo também a ideia de a modificação das espécies ser um processo automatizado por leis naturais – inclusive, como Darwin fizera, Chambers apoiava-se sobre o trabalho de Charles Babbage, divulgado em *Ninth Bridgewater Treatise* para fazer tais afirmações (*Ibidem*, pp. 154-156 e pp. 206-211). Até mesmo o esquema que

sinalizava progressão das espécies, observada a partir do desenvolvimento embrionário, tem uma estrutura de árvore (fig. 11).

O livro de Chambers e, talvez, mais do que ele, a crítica contundente que essa obra recebera do reverendo Adam Sedgwick, levou Darwin a um processo de profunda autocrítica. Ele se enxergava tão amador quanto Chambers para argumentar a respeito de qualquer ideia que envolvesse os animais e, em consequência disso, decidiu demarcar presença também entre os zoólogos e iniciou o que viria a ser um longo trabalho sobre a classificação de cracas (Browne, 2011, pp. 641-643). Blindado pelo anonimato, o próprio Chambers dizia não se importar com as críticas em um primeiro momento, mas a mesma crítica de Sedgwick, que fizera Darwin duvidar de si mesmo, foi, talvez, o que o motivara a publicar uma nova obra, chamada *Explanations: a sequel to Vestiges of the Natural History of Creation*, com novos exemplos e explicações sobre suas ideias a respeito da transmutação dos seres vivos (Browne, 2011, p. 641). *Explanations* não vendeu tão bem quanto o *Vestiges*, que tivera cinco edições, mas as críticas ao novo livro foram um pouco mais favoráveis (Secord, 1994, p. xxxv e p. xxxix).

O interesse de Robert Chambers pela ciência não foi mostrado apenas na ocasião dessas publicações: em 1840 ele fora eleito membro da *Royal Society of Edinburgh* e, até 1850 mantivera correspondência frequente com os membros da-

Figura 11 – Transmutação de espécies para Robert Chambers.

Imagem apresentada na p. 212 de *Vestiges of the Natural History of Creation*. Discutindo sobre a progressão entre peixes, répteis, aves e mamíferos, Chambers escreveu: “Os fetos de todas as quatro classes podem ser imaginados avançando em condições idênticas até o ponto A. Os peixes, então, divergem e passam para uma linha aparte e peculiar a si mesma, até seu estado maduro em F. Os répteis, aves e mamíferos vão juntos até C, onde os répteis divergem, da mesma maneira, e avançam até R. As aves divergem em D e seguem para B. Os mamíferos, então, vão adiante em uma linha reta, até o ponto mais alto de organização, em M. (Chambers, R., [1844] 1994, p. 212)

quela sociedade – muitos dos quais ele viria a citar em *Vestiges e Explanations*, como Sir Charles Bell, George Combe e Edward Forbes (Chambers, W., 1872, p. 254; cf. também Chambers, R. [1844 e 1845] 1994). Nas palavras de William Chambers, Robert, seu irmão, “não enxergava a geologia como uma brincadeira, mas a perseguiu” com “avidez de propósito” (Chambers, W., 1872, p. 255).

Além de seus interesses pela ciência, Chambers era reconhecido por sua paixão pela literatura. Também em 1844 ele publicou *Cyclopaedia of English Literature*, reunindo produções de grandes autores passados e presentes na época (Chambers, W., 1872, pp. 245-246). Robert também tinha produções próprias de literatura – especialmente versos sobre sua família e suas filhas (*Ibidem*, p. 252).

Outros trabalhos de Chambers envolvem a produção da biografia *The life and Works of Robert Burns*, de 1850; *Domestic animals of Scotland*, uma coletânea de três volumes, impressos entre 1859 e 1861; *Memoirs of a banking-house*, de 1860; além de uma série de versos e pequenos contos e relatos (Chambers, W., 1872). Em 1868, em reconhecimento a todas essas publicações e ao impacto que elas causaram em seu público, Robert Chambers foi agraciado com o título honorário de Doutor em Literatura pela Universidade de St. Andrews. O “Doutor”, já vinha, então, definhando em um lento processo de morte, o que, segundo seu irmão, era o resultado do esforço intelectual que necessitara para escrever, em 1863, *The book of days*, e também consequência da perda de sua esposa. Apesar de estar mais quieto e, aparentemente, mais alheio aos acontecimentos ao seu entorno, Chambers nunca deixara de aproveitar a companhia dos livros e nunca deixara de escrever, passando a se dedicar a temas mais religiosos ao final de sua vida – algo que chegava a causar estranhamento na família. Chambers morreu em 1871, deixando um grande volume de papéis com anotações e textos incompletos (Chambers, W., 1872, p. 271 e pp. 284-289).

2.2 Charles Darwin e o conceito de seleção natural

A mentalidade da comunidade culta europeia do século XIX, mesmo após as sugestões de degeneração de Buffon e de progressão dos animais de Lamarck, estava muito mais inclinada ao fixismo nos anos iniciais desse século. Tal visão seria confrontada por Robert Chambers (1802-1871), Charles Darwin (1809-1882), Alfred

Russel Wallace (1823-1913) e Thomas Henry Huxley (1825-1895), entre outros pensadores, ao longo do século. Entre esses nomes, aquele que interessa à nossa análise, por finalidades didáticas e pela fama que dura aos dias de hoje, é Charles Darwin (fig. 12).

Darwin não esteve, em momento algum, sozinho em seus empreendimentos científicos e nem trabalhou de maneira descontextualizada, como se fosse o único a pensar sobre a possibilidade de modificação das espécies. Durante boa parte do século XIX, a progressão dos animais de Lamarck permaneceu sendo divulgada por Robert Edmond Grant, professor de zoologia da Universidade de Edimburgo até 1827, quando se transferiu para o cargo de professor de anatomia comparada do *University College*, em Londres. Grant se manteve um grande defensor da transmutação por toda sua vida, mesmo enfrentando críticas e reprimendas, e dessa forma, apoiado por uma pequena comunidade, manteve viva a sombra dessa ideia (Desmond e Moore, 2009, *passim*). De maneira muito mais significativa, no entanto, a obra anônima *Vestiges of the Natural History of Creation*, publicada em 1844 e posteriormente atribuída a Robert Chambers, suscitou o debate na esfera acadêmica e na opinião pública sobre a possibilidade de modificação das espécies – e, incluído

Figura 12 – Charles Robert Darwin (1809-1882).

Charles Darwin em três diferentes momentos de sua vida. Da esquerda para a direita: Darwin ao final da década de 1830, recém retornado de viagem; em 1849, quando já havia começado a divulgar suas ideias sobre transmutação e desenvolvia um trabalho com cracas, a fim de desenvolver sua expertise em zoologia; e em 1857, quando já discutia abertamente suas ideias com seu círculo de amigos intelectuais e preparava seu grande livro, *Natural Selection*. Imagens em Domínio Público.

nesse panorama, a possibilidade de modificação da espécie humana (Hueda e Martins, 2014, pp. 40-41). Em 1855, Alfred Wallace publicou também um artigo que apresentava a modificação das espécies como uma hipótese sobre a qual ele estava buscando evidências (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2145”). Todas essas visões chegaram a Darwin e ele dialogou com elas em suas publicações e notas pessoais.

No século XIX, como ocorrera no XVIII, o que ainda fomentava parte das discussões sobre transmutação / fixismo era o estudo dos fósseis, permeado de tentativas para se explicar o que teria provocado a morte daqueles seres e qual seria o motivo da deposição de seus espólios como eram encontrados, além de questionamentos incessantes sobre qual seria o papel do ser humano nessa história da natureza que se tentava recriar (Faria, 2012). Essas questões fomentavam a busca por leis que estariam atuando na natureza desde o início dos tempos e que pudessem fornecer uma explicação razoável para esses fenômenos (Bullock, 2000, 2008). Esse contexto epistêmico, inserido em um contexto político no qual se discute a pobreza e a miséria como uma consequência “natural” da luta de classes, foi o ambiente propício para Charles Darwin, e posteriormente, Alfred Russel Wallace, pensarem a respeito dos mecanismos atuantes na natureza capazes de levar espécies inteiras a extinções, gerar fósseis e, ainda assim, promover a transmutação de espécies sem mais organizá-las em uma escala de perfeição ou de degeneração²⁶. Esses mecanismos são o que formam o processo chamado “seleção natural”.

Aqui, pretende-se esclarecer, por meio de um breve relato histórico, como Charles Darwin concebeu e amadureceu suas ideias sobre modificação das espécies, que seria chamado de “evolução” após a publicação de *On the origin of species* (Darwin, C., 1859). Como mencionado na Introdução deste capítulo, deseja-se ressaltar, ao longo desta narrativa, as contribuições obtidas de pessoas próximas a Darwin, como seu auxiliar, contratado a bordo do *HMS Beagle*, Syms Covington (1816?-1861); seu irmão, Erasmus Alvey Darwin (1804-1881); Harriet Martineau

²⁶ Robert Richards e Michael Ruse organizaram o livro *Debating Darwin* para discutirem, realizando uma profunda análise, que fatores teriam sido mais determinantes para a construção das ideias de Darwin: se o panorama filosófico fortemente vinculado ao romantismo alemão em que a Europa Ocidental estava inserida (Richards, 2016) ou se o contexto e a geografia mais propriamente bretões, com ênfase também ao papel da Escócia na formação de Darwin (Ruse, 2016). Nesta dissertação, não se pretende adotar o lado de um pesquisador ou de outro; contudo as referências bibliográficas que inspiram as discussões aqui expostas podem aproximar este texto mais do ponto de vista de Ruse do que de Richards.

(1802-1876) par romântico de Erasmus; seu círculo de amigos e colegas intelectuais: Charles Lyell (1797-1875), Richard Owen (1804-1892), Joseph Dalton Hooker (1817-1911), Charles Babbage (1791-1871), John Gould (1804-1881), John Stevens Henslow (1796-1861), entre tantos outros; além da contribuição de sua esposa, Emma Darwin (1808-1896), e do próprio Alfred Wallace.

É importante notar que o trabalho de Darwin contribui para mostrar o quão falaciosa é a concepção de senso comum sobre o que se costuma chamar de “o método científico” - observação, levantamento de hipóteses, experimentação e conclusão. As tentativas de Darwin para divulgar suas ideias, que resultaram nos rascunhos de 1842 e de 1844, vieram antes de seu processo de experimentação mais sistemático (1845-1855), e esse processo não foi exatamente motivado por suas próprias hipóteses, mas sim pelas críticas que ouvia colegas e amigos fazerem a Lamarck, a Grant e a Chambers. O processo de pesquisa de Darwin mostrou-se, portanto, como algo muito similar à ciência de hoje, praticada na academia: um processo de ciclos iterativos que foram sendo refinados até culminar, por uma pressão muito mais externa do que interna, na publicação do *Origem das Espécies*, em 1859.

Esse processo complexo, marcado por uma produção em frentes de trabalho diferentes, tão típica da própria natureza da ciência, torna mais difícil o processo de se acompanhar o progresso de um trabalho, em específico, de um cientista. Com o intuito de facilitar a compreensão, portanto, do que foi o processo de desenvolvimento do conceito de evolução por meio da seleção natural, dividiu-se a exposição que se segue sobre o trabalho de Darwin por temas, mais do que pela cronologia, demarcando e enfatizando o papel de Darwin como um investigador prático, experimentador; e também enfatizando e caracterizando o processo de divulgação da teoria e as pessoas para quem ela foi divulgada conforme ia sendo elaborada. O capítulo termina, então, com uma breve descrição dos impactos promovidos pelo *Origem das Espécies* e por um rápido olhar sobre outros empreendimentos de Darwin após essa obra.

2.2.1 Primeiros contatos com a transmutação

Nascido em 1809, em uma Inglaterra que viveu o debate entre a transmutação e o fixismo e que agora se inclinava mais para essa segunda visão de mundo, Charles Robert Darwin teve a oportunidade de vivenciar bem as duas versões de interpretação da história natural. Em casa, ele tinha o legado de seu avô paterno, Erasmus Darwin, que já podia lhe fomentar o raciocínio sobre os mecanismos de funcionamento da natureza – e de fato a história natural foi uma das poucas áreas do conhecimento que lhe encantou desde pequeno. Do lado materno, seu outro avô, Josiah Wedgwood, adotara a fé unitarista, o que, segundo Erasmus, não era mais do que um fino colchão de plumas para aparar um cristão em queda e separá-lo do chão do ateísmo. A mãe de Charles, Susannah, também era unitarista, no entanto ela morreria quando ele tinha oito anos, não tendo deixado um legado profundo a respeito da religião – ou de qualquer ensinamento profundo, segundo o próprio Darwin (Browne, 2011, pp. 51-52). Por fim, seu pai, Robert, não era um homem religioso. O contato com o fixismo veio de fora de seu núcleo familiar. O jovem Darwin teve contato com as críticas feitas ao avô, e estudou em um presbitério durante a infância, e, na adolescência, frequentou o colégio dirigido pelo Reverendo Samuel Butler (1774-1839) (Browne, 2011, pp. 38-42; Desmond e Moore, 2009, cap. 1).

O pai de Darwin era um médico de sucesso, como fora seu avô, e gostaria que seu filho seguisse o mesmo caminho; assim ele não dispensou a melhor educação que podia oferecer, decidindo-se por enviar Charles para estudar na Escócia, na Universidade de Edimburgo, “uma universidade liberal, centrada na ciência”, diferente do ensino oferecido em Oxford e Cambridge – as duas únicas universidades da Inglaterra na época –, que estavam vinculadas à Igreja Anglicana. O que se viu foi que o ramo da medicina não era para Charles, que tinha um “medo mórbido de sangue” e não era capaz de assistir às cirurgias feitas às pressas, com cortes precisos e sangrentos enquanto os pacientes deveriam ser contidos à força em uma época anterior à invenção da anestesia (Desmond e Moore, 2009, pp. 37-41 e p. 47). Janet Browne conjectura que o que tanto devia ter impressionado Darwin quando ele foi assistir a uma cirurgia, é que essa devia ter sido uma cirurgia de amputação: “depois disso, os gritos, o sangue e a violência deixaram-no desassossegado e vítima de inevitáveis noites de insônia” (Browne, 2011, p. 103).

A pesar da forte impressão negativa, foi também em Edimburgo, em 1826, que Darwin frequentou sua primeira sociedade científica, a *Plinian Society*, na qual “estudantes radicais, ferozes democratas livre-pensadores, exigiam que a ciência fosse baseada em causas físicas, e não em forças sobrenaturais” (Desmond e Moore, 2009, p. 50). Darwin gostou desse ambiente e, aos poucos, a história natural, assunto frequentemente presente na *Plinian*, tornava-se um mecanismo de escapar da medicina, que tanto o atormentava (Browne, 2011, p. 107).

Foi ainda em Edimburgo que Darwin frequentou as aulas de zoologia de invertebrados de Robert Grant (fig. 13). Grant participava de algumas reuniões da *Plinian Society*, tendo sido também secretário da sociedade, e foi provavelmente lá que ele e Darwin se conheceram (Browne, 2011, p. 119). A formação de Grant e a extensão de seus conhecimentos criaram uma boa impressão em Darwin – Grant formara-se médico em Edimburgo em 1814 e, depois disso, foi à França, estudar anatomia com Georges Cuvier e com Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), voltan-

Figura 13 – Robert Edmond Grant (1793-1874).

Litografia produzida em 1852, quando Grant contava 59 anos de idade.
Retirado de Desmond e Moore, 2009.

do para Edimburgo e assumindo a cátedra de animais invertebrados em 1824 (Browne, 2011, p. 119). Em contato com Darwin, rapidamente Grant também percebeu talento e potencial para a história natural no rapaz e passou a convidá-lo para viagens de coletas de invertebrados – especialmente pólipos e esponjas – nas praias de Leith, na foz do Rio Forth. Caminhando ali ou nos arredores da universidade, Grant demonstrava todo seu entusiasmo pelos ideais franceses e pela ideia de progressão dos animais de Lamarck – então uma figura “infame”, com cerca de 80 anos e cego devido ao desenvolvimento de catarata – e de Erasmus Darwin (Desmond e Moore, 2009, pp. 52-54; Martins, L., 1993, pp. 7-8).

A essa altura do século XIX, os poucos naturalistas que consideravam a possibilidade de transmutação costumavam “manter a cabeça baixa”, mas esse não era o caso de Robert Grant que, então, com a ajuda de Darwin, buscava ativamente evidências para a teoria de Lamarck de que as esponjas estariam próximas às fundações da vida no planeta (Browne, 2011, p. 120; Desmond e Moore, 2009, p. 56). Guiado por Grant, Darwin tomou, então contato com as obras de Lamarck, com suas ideias de progressão das espécies e com seus sistemas de classificação, que passou a estudar e a empregar em seus trabalhos (Desmond e Moore, 2009, pp. 56-57).

Faz-se necessário explicar aqui que as contribuições de Grant para que Darwin tomasse contato com a teoria e com os sistemas de Lamarck é defendida por Adrian Desmond e James Moore, mas não foi algo reconhecido por Darwin em sua autobiografia:

Ele [Grant], um dia, quando estávamos caminhando juntos, irrompeu em alta admiração a Lamarck e suas visões sobre evolução. Eu escutei com espanto silencioso e, até onde posso avaliar, sem nenhuma influência em minha mente (Darwin *in* Barlow, 1958, p. 49).

Como indica Frank Egerton, é provável que, ao escrever, no final de sua vida, sobre seu antigo professor e sobre as impressões que tinha de Lamarck, Darwin não conseguisse se lembrar desses momentos com tanta clareza. Egerton aponta que, em meio às notas da época em que Darwin estudava em Edimburgo, encontram-se traduções de próprio punho de trechos do *Système des animaux sans vertèbre*, de Lamarck, sobre a classificação dos seres vivos, e Egerton lembra ainda que a abertura dessa obra continha uma exposição sobre a ideia de progressão dos animais, o que permitiria a Darwin ter se aprofundado no assunto (Egerton, 1976, pp. 454-

456)²⁷. Na própria autobiografia de Darwin, o trecho “[...] Dr. Grant, meu sênior por vários anos, mas como eu o conheci, não consigo lembrar” (Barlow, 1958, p. 49) corrobora o argumento de Egerton e, afinal, Darwin reconhece:

De qualquer forma, é provável que ouvir assim tão precocemente essas visões mantidas e louvadas pode ter favorecido que eu as sustentasse de uma maneira diferente em meu *Origem das Espécies* (Darwin in Barlow, 1958, p. 49).

Definitivamente mais interessado na história natural do que na carreira como médico, não demorou muito para que o pai de Darwin notasse que o filho não daria continuidade à linhagem de médicos com que viera sonhando (Browne, 2011, p. 82). Em 1828, Robert Darwin enviou Charles para estudar em Cambridge, universidade em que a história natural estava imbrincada com a teologia natural. Com a formação em Cambridge, Charles Darwin poderia adquirir conhecimentos para dirigir uma paróquia própria, com propriedades que alugaria para a população local e com trabalhadores que lhe pagassem impostos, além de se dedicar aos estudos da natureza de que tanto gostava (Desmond e Moore, 2009, pp. 66-68).

Em Cambridge, Darwin encontrou um novo mentor: John Stevens Henslow (fig. 14), professor de botânica e reverendo da Igreja Anglicana com quem Charles passeava pelos arredores da universidade, conversando sobre assuntos diversos, mas especialmente sobre história natural. Nessas conversas, “Charles vislumbrou pela primeira vez como podia ser agradável a vida de um docente clerical” (Desmond e Moore, 2009, p. 99). Também foi no convívio com Henslow que Darwin obteve sua formação em botânica, tendo assistido às suas aulas entre os anos de 1829 e 1831 – segundo Janet Browne, foi essa a sua instrução formal em Ciências Naturais durante os anos em Cambridge (Browne, 2011, p. 182). Foi lá ainda que Darwin leu *Natural Theology*, de William Paley, e “se deliciara” pela lógica observada (*Ibidem*, p. 97). Apesar de tal entusiasmo pelos argumentos de Paley, não era possível deixar de notar como esse autor divergia radicalmente dos pontos de vista que Darwin havia aprendido com a obra de seu avô, Erasmus; da mesma forma que se notava como eram diferentes as concepções de Grant e de Henslow sobre a nature-

²⁷ A importância de Grant e sua marca deixada em Darwin também é reconhecida por Michael Ruse (2016, pp. 20-21)

Figura 14 – John Stevens Henslow (1796-1861).

Retrato produzido por Thomas Herbert Maguire, 1851. Retirado de Darwin Correspondance Project Database <<https://www.darwinproject.ac.uk/john-stevens-henslow>>. Acesso em 14 jul. 2016.

za. Segundo Adrian Desmond e James Moore (2009, p. 109), na mesma época em que Darwin analisava esses contrapontos, ele estudava o *Preliminary discourse on the study of natural philosophy*, de John Herschel (1792-1871), e assim ele se mostrava mais inclinado a imaginar que a ciência teria poder para explicar os fenômenos observados na natureza e dessa maneira, mais cedo ou mais tarde, ela prevaleceria às visões puramente religiosas – visão também mantida por Henslow e Adam Sedgwick (1785-1873), professor de geologia que estava presente no círculo de amigos de Darwin; Henslow, Herschel e Sedgwick defendiam a ideia de que a ciência poderia, inclusive, ser o caminho para as “verdades supremas de Deus” (Browne, 2011, p. 196).

Outra leitura que inspirara Darwin fora o relato de viagem de Alexander von Humboldt (1769-1859). Essa obra despertava a imaginação também de John Henslow, que reacendeu seu sonho de participar de uma viagem de exploração (Browne, 2011, p. 201). Inspirados por Humboldt, Darwin e Henslow fizeram planos para uma

incursão autofinanciada a Tenerife, nas Ilhas Canárias. Em meio ao planejamento para a viagem, perceberam que Darwin precisava contar com uma melhor formação em geologia. Henslow ajudou com uma formação teórica, mas, para uma experiência em campo, recorreram a Adam Sedgwick que, como apontam Desmond e Moore (2009, p. 113), já conhecia bem o histórico escolar de Darwin. A formação se deu às pressas, mas Charles se mostrou um bom aprendiz, rapidamente desenvolvendo gosto por esse ramo da história natural. Darwin treinou sua geologia e sua habilidade para se deslocar sozinho em um ambiente natural, munido de instrumentos e mapas, em Gales; ao final, Sedgwick se declarou “extremamente orgulhoso” de seu pupilo (Browne, 2011, pp. 203-213; Desmond e Moore, pp. 113-115). Na mesma época, como parte dos preparativos, estudou espanhol intensamente (Browne, 2011, pp. 202-203).

Somando essas incursões em Gales às suas leituras, às palestras que assistiu e às conversas e preparativos particulares, já se contavam alguns meses ao longo dos quais a viagem vinha sendo planejada. Tal planejamento, no entanto, passou por turbulências: a esposa de Henslow acabara de dar à luz e agora o professor se via imerso em novas responsabilidades, fazendo-o desistir da viagem. Para seu lugar, acompanhando Darwin, Henslow indicou Marmaduke Ramsay (?-1831), tutor universitário com quem Charles havia feito amizade por meio de Henslow. O golpe definitivo para o fim da viagem viera, então, por meio de uma carta recebida em agosto de 1831, quando Darwin se encontrava em Barmouth, na costa oeste do País de Gales: Ramsay havia morrido (Desmond e Moore, 114-116).

A frustração com a possibilidade de ter seus planos de viagem cancelados e a ansiedade de considerar a possibilidade de viajar sozinho duraram pouco. Em setembro, de volta a Londres, entre a correspondência que o aguardava, Darwin encontrou uma carta de Henslow (Darwin Correspondence Project, “letter no. 105”), indicando-o para uma nova viagem, mais extensa, passando pela Terra do Fogo e pelas Índias Ocidentais, em companhia do capitão Robert FitzRoy (1805-1865).

2.2.2 A viagem a bordo do HMS Beagle

Robert FitzRoy, era um jovem – apenas 4 anos mais velho que Darwin – com excelente formação náutica, tendo realizado um treinamento especializado em mapeamentos costeiros (Passeti, 2013, p. 306) havia assumido o comando do *Beagle* em 1830, quando o comandante Philip Parker King (1791-1856) aportara no Rio de Janeiro, onde FitzRoy prestava serviço à marinha britânica, com dois navios: o *Adventure* e o *Beagle*. King carregava a notícia que o antigo capitão, Pringle Stokes (1793-1828) estava morto, e eles requisitavam alguém para substituí-lo. Graças a uma boa formação e a uma boa ascendência familiar, FitzRoy foi a pessoa indicada (Passeti, 2013, p. 306).

Sob o comando do novo capitão, o *Beagle* prosseguiu até o Chile, realizando o mapeamento da América do Sul e identificando pontos estratégicos de navegação, como o Estreito de Magalhães. Durante essa atividade de mapeamento, ao contornar a Terra do Fogo, um dos botes do navio fora furtado pelos nativos e, ao que indica Gabriel Passeti, num gesto impulsivo, FitzRoy ordenou que alguns nativos fossem capturados para terem seu retorno negociado pelo bote roubado (Passeti, 2013, p. 206). O plano não deu certo e alguns dos nativos, inclusive, se recusaram a descer do *Beagle* depois de liberados (Browne, 2011, p. 219). Em seu diário de bordo, então, justificou essa ação como se fizesse parte de um plano para levar os nativos à Inglaterra, educá-los lá, e retorná-los à sua terra de origem, disseminando a cultura e a civilização britânicas (Passeti, 2013, p. 206).

Os nativos, apelidados de York Minster (26 anos), James Button (20 anos) e Fuegia Basket (uma menina de 9 anos) – um quarto nativo, Boat Memory, havia morrido de varíola –, foram mantidos por um ano e meio em Londres, sendo “educados” para os padrões britânicos, até quando houve a oportunidade de o *Beagle* zarpar em nova navegação para retomar o mapeamento da América do Sul. Organizando-se para retornar os fueguinos à sua terra natal e construir uma base missionária para a Igreja Anglicana na Terra do Fogo, FitzRoy conseguiu que parte dos custos da viagem fossem financiados também por parceiros filantrópicos de seu tio, Charles Augustus FitzRoy, duque de Grafton (1796-1858) (Browne, 2011, p. 220). A respeito dessa viagem, mais uma vez o capitão Robert FitzRoy registrou que seu principal propósito era o cumprimento de suas obrigações cristãs (FitzRoy, 1839,

cap. 1), mas os interesses políticos e econômicos eram o que realmente justificavam os gastos de uma viagem programada para dois anos²⁸: o bloqueio comercial entre a América do Sul e Grã-Bretanha havia sido cancelado; o sul da patagônia e do Chile apresentavam posições estratégicas, militar e comercialmente falando; e, politicamente, a presença britânica na região poderia frustrar interesses americanos e franceses (Bizzo, 2002; Browne, 2011, p. 220).

Após garantido o financiamento, era necessário realizar melhorias no *Beagle*. Os mapeamentos do Novo Mundo que a Inglaterra vinha fazendo ficavam sob encargo de navios tradicionais, carregando canhões e diversos equipamentos de ferro, e apenas há poucos anos o *Hydrographic Office of the Admiralty*, criado em 1795, percebera que a enorme quantidade de ferro nos navios e sua disposição a bordo interferia nas bússolas, dificultando o processo de navegação e mapeamento. Para evitar que isso se repetisse nessa viagem, FitzRoy financiou a troca dos canhões e armas de ferro por itens de latão; os poucos itens que ainda fossem fabricados com metais com propriedades magnéticas deveriam ter sua posição verificada, para que o trabalho das pessoas a bordo do navio pudesse ser realizado de maneira confiável, sem interferências (FitzRoy, 1839, esp. p. 45; Thompson, 2014). Além das reformas na estrutura do navio, foram adquiridos 22 cronômetros H-4, “de precisão inaudita, garantida por preciosos rubis à prova de desgaste”, que deveriam ser guardados por uma tripulação armada, capaz de proteger esses caros artefatos (Bizzo, 2002, p. 53).

Além de todo o equipamento para o levantamento cartográfico e para a proteção do navio, o *Beagle* deveria contar com 74 tripulantes, e um deles seria o recém-convidado Charles Darwin. A princípio, FitzRoy não estava interessado em Darwin por suas habilidades enquanto naturalista. Ele requisitava um cavalheiro que lhe fizesse companhia – e que pudesse financiar seus próprios custos, pois o dinheiro que lhe fora concedido pelo almirantado já estava comprometido. O antigo capitão do *Beagle*, Pringle Stokes (1793-1828) havia se suicidado na viagem anterior e isso chamara a atenção de FitzRoy para os perigos do isolamento social, especialmente

²⁸ A princípio, FitzRoy pensara que a viagem duraria apenas dois ou três anos, uma vez que o objetivo principal seria mapear o Novo Mundo e devolver os fueguinos a sua terra de origem; de maneira que o navio deveria retornar à Inglaterra pelo próprio Atlântico. Apenas após terem completado o trabalho na costa do Chile é que FitzRoy obtém permissão do almirantado para completar a volta ao mundo, parando para inspecionar as colônias na Austrália (Desmond e Moore, 2009).

levando-se em consideração que ele tinha um tio – Robert Steward, *lord* Castlereagh (1762-1822) – que se suicidara alguns anos antes (Browne, 2011, p. 221; Desmond e Moore, 2009, p. 122), mas FitzRoy não se sentia à vontade para ter esse tipo de abertura com um de seus subordinados (Passeti, 2013, p. 307). A única exigência que FitzRoy fazia, então, a respeito do tal cavalheiro a lhe acompanhar era a de que essa pessoa fosse alguém educado, de boas maneiras e capaz de compartilhar seus interesses científicos (Browne, 2011, p. 222; Desmond e Moore, 2009, p. 122). A ideia de que esse cavalheiro poderia ser também um naturalista parece ter sido formulada por George Peacock (1791-1858), professor de Cambridge e amigo de Henslow, que primeiro ouvira a respeito da vaga a bordo do navio (Darwin Correspondence Project, “letter no. 105”). Peacock conversara com Henslow, que indicara Darwin como “a pessoa mais qualificada que conhecia para assumir tal posto”, alguém “amplamente qualificado para coletar, observar e notar qualquer coisa digna de nota em história natural” (Darwin Correspondence Project, “letter no. 105”). Como aponta Janet Browne, essa escolha de Darwin foi fruto da ação da rede de relacionamentos intelectuais de Cambridge. Darwin não fora a primeira pessoa a ser indicada, e o próprio FitzRoy ficara receoso em tê-lo a bordo, mas as conexões sociais que cercavam o recém-formado naturalista fizeram que sua escolha fosse resultado de um processo muito mais complexo do que um mero golpe de sorte (Browne, 2011, pp. 222-223).

Como ocorrera com os preparativos para a viagem a Tenerife, também houve conturbações durante os preparativos para a viagem a bordo do *Beagle*: a princípio, o pai de Darwin não queria deixar que o filho partisse nessa viagem, considerada “uma distração inútil e perigosa” (Desmond e Moore, 2009, p. 120). Sem poder desobedecer ao pai – que deveria pagar pela estadia a bordo do navio – Darwin foi enviado para a casa de seu tio, Josiah Wedgwood II (1769-1843), com uma receita de pílulas de terebintina para tratar um mal estar intestinal e, junto com a receita, seguia uma mensagem selada, relatando sobre a possibilidade de Charles embarcar “em uma viagem de descobertas por dois anos”, ao que ele próprio havia “fortemente objetado por diversos motivos”, mas revelando que não faria oposição a uma “visão não enviesada sobre o assunto”, e se dizendo pronto a deixar Charles viajar se o tio assim considerasse melhor (Darwin Correspondence Project, “letter no. 108”). Convencido pelo sobrinho, foi que Josiah persuadiu Robert Darwin a retroceder em sua decisão e permitir que o filho embarcasse com FitzRoy.

Os preparativos foram feitos às pressas, entre os dias 2 e 3 de setembro de 1831. Charles estava escrevendo uma carta de aceitação para FitzRoy e indo para Cambridge, encontrar-se com Henslow. Mal chegando à casa de seu professor, no entanto, mais um contratempo: FitzRoy escrevera se desculpando, pois Peacock havia lhes repassado uma oferta que não existia; o lugar já havia sido prometido para um amigo próximo de FitzRoy, mas, se ele desistisse, Darwin seria o próximo a ser chamado. A carta terminou com uma indicação para que eles se encontrassem pessoalmente (Desmond e Moore, 2009, p. 121). Janet Browne assinala que a identidade desse “amigo” permanece um mistério até os dias de hoje devido à falta de registros, e discute que poderia, de fato, ter sido uma pessoa real – provavelmente Chester Harry, escrevente do Gabinete do Conselho Privado do Reino – ou poderia ter sido apenas um blefe, fruto da insegurança que pairava sobre FitzRoy a respeito de seu colega de viagem, e que se converteria em uma desculpa para dispensar Darwin caso FitzRoy não gostasse dele (Browne, 2011, p. 232).

Assim, já sem perspectivas, em 5 de setembro de 1831, Darwin encontrou-se pessoalmente com o capitão FitzRoy pela primeira vez, que lhe reportou: “seu amigo acabara de recusar a oferta da viagem não havia nem cinco minutos”, e completou perguntando se Darwin ainda aceitava a oferta (Desmond e Moore, 2009, p. 122). FitzRoy o achava um “jovem amistoso, de boa posição social e que parecia alguém fácil para se conviver” (Browne, 2011, p. 125) e essa impressão finalmente garantiu a viagem para Charles Darwin, que agora tinha de finalizar o quanto antes os muitos preparativos iniciados, pois FitzRoy queria zarpar antes do final do ano.

Dentre as preparações para a viagem, destacam-se a organização de uma biblioteca de bordo, contendo volumes como *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*, de Lamarck; *Principles of geology*, de Charles Lyell; e *Le règne animal distribué d'après son organisation pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux*, de Georges Cuvier, em duas edições e mais uma tradução em inglês, entre muitos outros²⁹. Todos os custos com livros, instrumentos e roupas para a viagem estavam sendo pagos por seu pai, e totalizariam o equivalente a dois anos de estudos em Cambridge, mais os gastos que surgissem durante a viagem (Browne, 2011, p. 231).

²⁹ A lista completa de obras na biblioteca do *HMS Beagle* pode ser consultada em <http://darwin-online.org.uk/BeagleLibrary/Beagle_Library_Catalogue.htm>.

Também, como parte desses preparativos, Darwin solicitou a FitzRoy permissão para levar um auxiliar para suas coletas, seu amigo Francis Owen, que também era irmão de sua namorada da época, Fanny Owen, mas esse desejo lhe foi negado. Segundo FitzRoy, o “jovem Owen” teria que entrar nos registros do navio como um *mid* – um tripulante auxiliar –, mas todas as vagas de *mids* já haviam sido preenchidas, uma vez que o navio era comissionado (Darwin Correspondence Project, “letter no. 135”).

Com os tripulantes prontos para a viagem, o navio – um brigue equipado com 7 botes salva-vidas, 11 âncoras, 24 cronômetros (dois do próprio FitzRoy), 8 canhões, 1 para-raios, 1 *storm glass*³⁰ e a inspiradora inscrição do leme “A Inglaterra espera que cada homem cumpra com sua obrigação” (Marcquardt, 1927) – zarpou de Devonport no dia 10 de dezembro de 1831, mas teve de retornar ao porto devido ao clima desfavorável. Mais uma tentativa de partida foi feita no dia 21 de dezembro, mas o navio encalhou. Finalmente, no dia 27 de dezembro de 1831, o *Beagle* conseguiu se lançar ao mar, levando 73 homens – 1 a menos do que estava planejado, pois o marinheiro havia escorregado da amurada e se afogado durante os preparativos para a primeira tentativa de navegar (Desmond e Moore, 2009, p. 129-132).

Deixando a Inglaterra, o *Beagle* passou pelas Ilhas Madeira, Canárias e do Cabo Verde, deslocando-se então para Fernando de Noronha. No Brasil, o navio ficou de 28 de fevereiro a 5 de julho de 1832 navegando entre a Bahia e o Rio de Janeiro, realizando medições de profundidade do assoalho costeiro e mapeando a região de Abrolhos e a costa. Para a marinha Inglesa, era muito importante determinar com precisão a que latitude localizava-se o Rio de Janeiro, a fim de que pudessem ter bons mapas de navegação (Leff, 2008) e, além disso, a parada nos portos brasileiros era um procedimento comum a muitos navios com o objetivo de repor alimentos, homens e realizar reparos (Passeti, 2013, p. 308). Saindo do Rio de Janeiro, indo mais ao sul, o navio inglês teve de desviar de uma região de navegação destinada aos franceses e assim seu próximo ponto para atracar foi Montevideo, no Uruguai (Bizzo, 2004, pp. 148-149; Leff, 2008). Mais ao sul, na região de Baía Bran-

³⁰ Ocasionalmente chamado “barômetro de FitzRoy”; consistia de um vidro lacrado contendo uma mistura, formulada pelo próprio FitzRoy, de água destilada, etanol, nitrato de potássio e cloreto de amônio que deveria assumir aparências diferentes de cristalização de acordo com o tempo atmosférico. Testes contemporâneos contestam a eficiência de tal instrumento, indicando que os padrões de cristalização deveriam ser interpretados apenas como um indicador de temperatura (cf. Tanaka *et al.*, 2008).

ca, Argentina, FitzRoy contratou duas escunas para auxiliar em suas medições, que se estenderam na região até 27 de novembro, quando zarpu para a Terra do Fogo, onde deixaram os fueguinos.

A ideia de estabelecer uma base missionária anglicana falhou. O missionário Richard Matthews (1811-1893) sentiu-se ameaçado pelos nativos e foi convencido pela tripulação do *Beagle* a retornar a bordo (Passeti, 2013, p. 308; Desmond e Moore, 2009, p. 153). York Minster e Fuegia Basket logo voltaram a andar seminus e a reassumir seus comportamentos e hábitos originais (Salgado-Neto e Salgado, 2010, p. 256). Jemmy Button, não abrindo mão de suas roupas britânicas e dos hábitos adquiridos, não obtinha aceitação de seus compatriotas (Desmond e Moore, pp. 152-165; Salgado-Neto e Salgado, 2010, p. 257). O *Beagle* partiu, com rumo nordeste para as Ilhas Malvinas e, de volta ao norte, para o Rio Negro, em 12 de abril de 1833 e de volta para Montevideo, em 26 de abril (Weitzel, 1998, cap. 4; Leff, 2008). Quando o navio voltasse à Terra do Fogo, os tripulantes encontrariam Jemmy Button também seminu – suas roupas haviam sido roubadas por York Minster – e relatando estar feliz com seu retorno à vida original. Em 1859, ele seria responsável por liderar um massacre a um grupo de missionários. Ao longo dos anos, essa tribo de nativos, chamados Yamame, foi dizimada pelos europeus, que estavam em constante conflito com eles, devido à exploração de recursos na Terra do Fogo (Salgado-Neto e Salgado, 2010, pp. 257-258).

Após ter deixado os nativos na Terra do Fogo, até maio de 1833, Darwin escreveu sete cartas para seu pai e irmãs, duas cartas para seu primo, William Darwin Fox (1805-1880), três cartas, para John Henslow, uma carta para John Maurice Herbert (1808-1882), colega de Cambridge, e uma carta para Frederick Watkins (1808-1888), outro colega de Cambridge (Darwin Correspondence Project, “letters no. 159-206”). Nessas cartas, Darwin quase não tratou sobre a dinâmica de seu trabalho; esse assunto foi abordado apenas com Henslow, seu antigo professor, reconhecendo um andamento lento das coletas: “eu temo que você dirá que é muito pequena” – apesar do esforço constante, que estava fazendo sozinho – “mas eu não me mantive ocioso”, “a caixa [de material de coleta] contém um bom número de espécimes geológicos – eu tenho bem ciência que o maior número é muito pequeno, mas eu digo que ninguém tem o direito de me acusar, até que tenha tentado carregar rochas sob o sol tropical” (Darwin Correspondence Project, “letter no. 178”).

Apesar da frustração, Darwin descreve que, entre as remessas enviadas a Henslow, contavam alguns insetos, amostras diversas de rochas e espécimes de moluscos marinhos da região do Caribe, rochas da Bahia, animais terrestres – especialmente insetos – e de água doce do Rio de Janeiro, “algumas poucas plantas” tropicais (Darwin Correspondence Project, “letter no. 171”), além de todas as plantas com flores que pode observar em Abrolhos, uma vasta coleção de aracnídeos do Rio de Janeiro, duas planárias terrestres coletadas em meio à mata tropical, outras duas sobre pedras seca em Monte Video, e mais uma variedade de serpentes, lesmas insetos e aracnídeos também de Monte Video (Darwin Correspondence Project, “letter no. 178”). Além das descrições das coletas, Darwin elaborou longa explicação e pedido de desculpas pelo lento envio de remessas, informando que o trabalho de coleta lhe consumia tanto tempo que não conseguia preparar as amostras para a viagem (Darwin Correspondence Project, “letter no. 178”) e lamentou-se por não ter conseguido tempo para caçar e preparar nenhuma pele de ave (Darwin Correspondence Project, “letter no. 171”).

Darwin não estava exagerando sobre a quantidade de trabalho que tinha, que também fora percebida por FitzRoy. Além de assumir muitas responsabilidades, o capitão notara que Darwin estava disposto assumir grandes riscos para garantir seus espécimes. Quando Charles fazia preparativos para deixar Baía Branca e voltar a pé a Maldonado, fazendo coletas por terra enquanto esperava que a nova escuna, *Adventure*, fosse equipada com uma nova quilha de latão, FitzRoy sugeriu que ele levasse Syms Covington como auxiliar (Darwin Correspondence Project, “letter no. 248”; Desmond e Moore, 2009, p. 156; Weitzel, 1998, Capítulo 5). Covington era um jovem, com cerca de 16 anos³¹, que fora contratado como rabequista e camareiro do *Beagle* (Keynes, 2001, p. 179). Vern Weitzel, editor do diário online de Syms Covington (1998, cap. 1), indica que, um pouco antes da expedição a pé de Darwin a Maldonado, Covington e Darwin já haviam começado a trabalhar juntos, e isso pode ter justificado a decisão de FitzRoy de indicar o garoto como companhia para o naturalista.

³¹ Há informações conflitantes sobre o seu nascimento; no catálogo da National Library of Australia, são mencionadas as datas de 1813 e 1814 (Trove, 2008), porém a data indicada nos registros de Darwin e historiadores da Biologia é 1816, data adotada para este trabalho (Keynes, 2001, p. 449, Grow e Steiheimer, 2008, p. 595; Porter, 1993, p. 6).

Trabalhando juntos, Darwin ensinou Covington a atirar, bem como a preparar os espécimes coletados para serem enviados à Inglaterra (Darwin Correspondence Project, “letter no. 206”). Em Maldonado, satisfeito com o trabalho do rapaz após três semanas de colaboração, recompensadas pela coleta de diversos animais, inclusive muitos quadrúpedes e emas cuja espécie não havia ainda sido descrita, Charles escreveu à família pedindo permissão e dinheiro para contratar Covington como um assistente oficial e permanente durante a viagem (Darwin Correspondence Project, “letters no. 206 and 210”; Desmond e Moore, 2009, p. 145). Com a permissão concedida e com os gastos com o salário de Covington sendo divididos entre a família de Darwin e o Almirantado, intermediado por FitzRoy, Darwin passou a fazer referências a seu novo ajudante em suas próximas correspondências (Darwin Correspondence Project, “letters no. 207 e 210”), indicando que estava atribuindo a ele a coleta ornitológica: “Eu ensinei meu empregado (*servant*) a atirar e a remover as penas de aves, e eu lhe dou dinheiro – eu só peguei uma ave [...]” (Darwin Correspondence Project, “letter no. 207”). Nora Barlow, analisando os cadernos de campo de Darwin, identificou um crescente volume de notas sobre aves após um ano e meio de viagem, coincidindo, portanto, com a contratação de Syms Covinton (Barlow, 1963, p. 204).

Apesar de sempre referir-se ao rapaz por “*my servant*”, Darwin transpareceu em sua correspondência que a relação entre eles sustentava uma consideração mais profunda que a mera relação patrão-empregado, e juntos, enfrentavam os perigos das incursões a pé por terras desconhecidas:

Meu empregado (Covington por nome e o mais inestimável para mim) foi enviado à Estância dos Mercadores onde eu estou hospedado – ele, outro dia, quase perdeu sua vida na areia movediça, onde minha arma se foi completamente (Darwin Correspondence Project, “letter no. 222”).

Darwin escreveu 69 cartas a bordo do *Beagle*; dessas, 23 citavam Syms Covington, sendo que a última referência ao rapaz apareceu na carta escrita à irmã de Charles, Caroline Sarah Darwin (1800-1888) em julho de 1834 (Darwin Correspondence Project, “letter no. 248”). Entre esse período e o fim da viagem, em 1836, apesar da omissão sobre Covington na correspondência, há indicações no diário de Covington (Weitzel, 1998) e na autobiografia de Darwin (Darwin, F. 2013) de que ele

transferira grande parte do trabalho de coleta biológica para seu auxiliar para que pudesse se dedicar ao “prazer maior da geologia” (Darwin, F., 2013, cap. 2) – algo que confirma em carta a seu primo William Darwin Fox (1805-1880), em uma carta datada de março de 1835: “Eu tenho prestado muito mais atenção à geologia, a ponto de negligenciar a biologia marinha” (Darwin Correspondence Project, “letter no, 270”).

Deve-se notar que, de acordo com o que é relatado na correspondência de Darwin entre maio de 1833 a junho de 1834, ele e a tripulação do *Beagle* estavam concentrando seus trabalhos no Uruguai e Argentina – isso também pode ser acompanhado nas biografias adotadas como referência para este trabalho (Browne, 2011; Desmond e Moore, 2009). Em julho de 1835, o navio estava em Valparaíso, no Chile (Desmond e Moore, 2009, p. 184), e, após isso, quando Covington já estava realizando um trabalho de coleta biológica mais autônomo – escrito na carta de março de 1835 (Darwin Correspondence Project, “letter no, 270”) –, foi que FitzRoy e sua tripulação concluíram a exploração e mapeamento do sul do Chile, e se lançaram à circum-navegação do globo, partindo para as ilhas Galápagos e, de lá, para a Austrália (Desmond e Moore, 2009, p. 186). Assim, é possível supor que grande parte do material biológico coletado nessa região e nas próximas, visitadas até o retorno para casa, ficaram especialmente sob encargo de Covington.

Seguindo essa suposição, podemos imaginar que Darwin dedicou-se então mais exclusivamente à coleta de material geológico: ossos de mamute na Patagônia (Darwin Correspondence Project, “letter no. 251”), conchas e cracas fossilizadas no Chile (Desmond e Moore, 2009, pp. 173-175), rochas de formações rochosas de Montevideo e da Cordilheira dos Andes – além de ter elaborado uma descrição detalhada da paisagem geológica (Desmond e Moore, 2009, pp. 173-175, Darwin Correspondence Project, “letter no. 274”) –, e de coníferas e conchas fossilizadas nos Andes (Darwin Correspondence Project, “letters no. 274 e 283”). A cargo de Covington, ficara a coleta de peles de aves, insetos, planárias terrestres na Patagônia (Darwin Correspondence Project, “letter no. 251”), insetos, moluscos e crustáceos de Chiloé – incluindo *Cryptophialus minutus*, que levaria Darwin a mergulhar em um trabalho de oito anos reelaborando a classificação de Cirripedia (Darwin Correspondence Project, “letter no 272”), um “pequeno camundongo singular”, endêmico de apenas algumas ilhas de Chonos (Desmond e Moore, 2009, pp. 176-177), lagartos nos Andes e insetos em geral pelas paradas no Chile (Darwin Correspondence Pro-

ject, “letter no. 274”), e os aves das ilhas Galápagos, entre outros (Darwin Correspondence Project, “letter no. 295”). A respeito dessas aves, que figurariam como elementos-chave para a elaboração da teoria de seleção natural, entre as notas que Darwin produziu quando refletia sobre suas coletas, há uma chamada “aves do arquipélago de Galápagos, coletados por Syms Covington”, em que Darwin descreve todos como pertencentes ao gênero *Geospiza* e identifica também o epíteto específico (*magnirostris*, *fortis*, *fuliginosa*, entre outros epítetos ilegíveis), e assinala, ao lado de cada ave, o nome de uma das ilhas do arquipélago, acompanhado de um ponto de interrogação (Wyhe, 2002c, item CUL-DAR29.3.30). Essa anotação tanto reafirma o papel de Covington na coleta dos animais quanto apresenta uma falta de cuidado com a anotação precisa a respeito de onde veio cada espécime.

Uma vez que Darwin não fez nenhum comentário sobre a distribuição de atividades pertinentes às coletas botânicas, é difícil saber o quanto ele, propriamente, ou Covington estava envolvido com essa parte da história natural. Em suas cartas a Henslow, no entanto, ele aponta ter enviado diversas remessas que interessariam seu mentor: sementes e plantas com flores da Patagônia (Darwin Correspondence Project, “letter no. 251”), sementes de Coquimbo e Mendoza (Darwin Correspondence Project, “letter no 274”), plantas do arquipélago do Chonos (Darwin Correspondence Project, “letter no 274”) e plantas com flores nas Ilhas Galápagos (Darwin Correspondence Project, “letter no. 295”).

A estadia nas Galápagos durou de 15 de setembro a 20 de outubro de 1835 e, dali, o *Beagle* cruzou o pacífico e chegou à Nova Zelândia em 10 de dezembro, tendo passado por várias ilhas no caminho – entre elas, o Tahiti, ponto de parada para diversas embarcações que navegavam entre a América e a Ásia na época, descrito como um conjunto de ilhas paradisíacas, fartas em alimentos, água fresca e nativos receptivos (Passeti, 2013, p. 309). Em janeiro de 1836, aportaram em Sidney. Na Austrália, Darwin e Covington realizaram explorações por terra, como vinham fazendo nas demais paradas (Leff, 2008); Darwin dedicava-se à geologia e Covington, além das coletas, fazia desenhos das pessoas e tomava notas sobre seus costumes (Darwin, F., 2013; Weitzel, 1998). De todos os locais visitados, a Austrália fora o que mais impressionou Covington (Weitzel, 1998).

Em 13 de Março de 1836, o navio partiu para completar sua viagem: passaram pelas ilhas de Cocos e pelas Maurícias, mapeando-as e explorando-as; apenas contornaram Madagascar e rumaram para a Cidade do Cabo, onde passaram a primeira metade do mês de junho. Fizeram paradas em Santa Helena e Ascensão; voltaram para a Bahia, para que FitzRoy pudesse conferir algumas medidas, voltaram por Cabo Verde e pelos Açores; chegaram, finalmente, à Inglaterra, atracando em Falmouth em 2 de outubro de 1836 (Leff, 2008) e completando a rota ilustrada na figura 15.

Figura 15 – Rota percorrida pelo navio *HMS Beagle*.

Rota percorrida entre 27 de dezembro de 1831 e 2 de outubro de 1836. No mapa, estão apresentados os nomes dos locais onde o navio atracou para completar mapeamentos e realizar reformas. Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/>>. Acesso em 10 abr. 2017.

2.2.3 Primeiro desenvolvimento do conceito de seleção natural

Assim que o navio atracou, Darwin partiu para a casa da família, em Shrewsbury, deixando Syms Covington encarregado de encaixotar as coletas ainda a bordo do *Beagle* e despachá-las para os cuidados de Henslow – o mesmo destino inicial de todas as coletas da viagem. Após se certificar que os materiais coletados estivessem em segurança com seu antigo professor, Darwin deveria, então, selecionar especialistas capazes de descrevê-los. Em dúvida a respeito de quem seriam esses

especialistas, Charles recorreu ao próprio Henslow, em busca de conselhos: “estou extremamente ansioso em vê-lo. [...] Quero seu conselho em muitos pontos, na verdade estou em um nevoeiro e não sei nem o que fazer ou para onde ir”. (Darwin Correspondence Project, “letter no. 311”; Desmond e Moore, 2009, pp. 213-215)

Henslow indicou-lhe os especialistas, a maioria sediada em Londres e sobrecarregada de trabalho. Darwin deveria sondá-los e redistribuir o material entre eles. Zeloso por suas coletas, Charles preferiu não se afastar muito delas após essa redistribuição, e foi viver em na capital inglesa, uma cidade que, apesar de “magicamente iluminada por milhares de lâmpadas de gás”, não era uma das visões mais bonitas, pois “as obras nas ruas constituíam uma queixa constante: esgotos em acabamento, tubulações de gás sendo instaladas [...]” (Desmond e Moore, 2009, p. 215), além de ser uma cidade extremamente malcheirosa (*Ibidem, passim*).

Darwin instalou-se na casa de seu irmão, Erasmus – de agora em diante, a fim de evitar confusão com o avô, referido como “Eras”, o apelido dado pela família. Syms Covington mudou-se junto com Charles, ainda vinculado a um contrato, e agora comprometido principalmente com a compilação das observações dos especialistas que haviam aceitado analisar o material que Darwin e ele haviam coletado. A casa de Eras localizava-se no nº 32 de Great Marlborough Street, de onde a Sociedade Zoológica, a Sociedade Geológica, a Sociedade Lineana e o Museu Britânico – as principais instituições científicas – encontravam-se a apenas uma curta caminhada. Alojado ali, Darwin tinha acesso fácil aos especialistas, e poderia estar em contato constante com Charles Lyell – que o apresentou a pessoas importantes, de alta classe – e com renomados pensadores da época. Lyell ainda indicou Darwin para o Clube Athenaeum. Ele foi aceito na mesma sessão que Charles Dickens (1812-1870) e outros tantos intelectuais (Browne, 2011, p. 489). Em casa, Charles também tinha ainda a companhia intelectual de seu irmão e de Harriet Martineau, par romântico de Eras.

Eras estudou e se graduou em medicina, mas Robert Darwin, pai dos irmãos Darwin, ao perceber que ele não assumiria a profissão, decidiu conceder-lhe uma pensão, que era gasta fomentando os interesses intelectuais do rapaz. Eras adquiria, assim, uma boa formação política e era visto nos círculos da alta classe de Londres (Desmond e Moore, 2009, *Passim*). Martineau era também uma figura de destaque político que estava, então, no auge da fama (Browne, 2011, p. 489); ela es-

crevera *Poor laws and paupers illustrated* entre os anos 1833 e 1834: um conjunto de panfletos sobre política que foram enviados a Charles Darwin quando ele estava a bordo do Beagle. No mesmo envelope em que recebeu os panfletos, estava uma carta de sua irmã Caroline contando sobre o relacionamento de Eras e Harriet (Darwin Correspondence Project, “letter no. 224”). Desmond e Moore (2009, p. 171) descrevem Martineau como um “grande leão em Londres” e “uma dama ferozmente independente”; algo que se mostrava como uma grande ruptura para os padrões da época. Darwin a considerou “agradavelmente interessante”, segundo o relato de Janet Browne (2011, p. 491).

Além de estar inserido em um círculo de amizades intelectuais, outra vantagem de morar em Londres foi a facilidade para distribuir os espécimes coletados durante a viagem a diferentes pesquisadores, de acordo com a especialidade de cada um. Para esses estudos, destacam-se os papéis exercidos por Richard Owen (1804-1892), que trabalhou com o material fóssil, e John Gould (1804-1881), que trabalhou com as aves. Durante a busca por naturalistas que analisassem os materiais zoológicos e fósseis coletados, Darwin parece ter evitado, deliberadamente, procurar seu antigo professor e interlocutor, da Universidade de Edimburgo, Robert Grant. Grant, então trabalhando no University College, em Londres, insistia em divulgar a progressão dos animais de Lamarck, o que contribuiu para que ele fosse visto com maus olhos por parte dos professores vinculados aos valores da Igreja da Inglaterra. Grant também tinha atitudes políticas tempestuosas, atacando abertamente Cambridge, a igreja anglicana e seus privilégios políticos. Darwin, tendo seu círculo de amigos formado principalmente por clérigos de Cambridge, optou por trabalhar com Richard Owen, de quem acabou ficando também bastante próximo. Owen, como Grant, tinha grande interesse em fósseis e em invertebrados, mas suas semelhanças se encerravam aí. Intelectualmente, Owen e Grant eram rivais; um pouco antes de Darwin acioná-lo, Owen votara pela expulsão de Grant da Sociedade Geológica, e suas publicações eram avessas às ideias sobre transmutação (Browne, 2011, p. 489; Desmond e Moore, 217-221).

Mamíferos e aves foram levados para a sede da Sociedade Zoológica, onde John Gould manifestou interesse pelo grupo de aves coletados nas Ilhas Galápagos. Como mencionado antes, os sacos de espécimes taxidermizados não tinham informações sobre as ilhas específicas de cada aves; tudo estava misturado e, como reportam Adrian Desmond e David Moore (2009, p. 227), as aves foram apresentados

como sendo, em sua maioria, tordos (*Turdus sp.*), junto com algumas corruíras (*Troglodites sp.*), bicos grossos (*Saltator sp.*) e corruções (*Icterus sp.*). Em cerca de seis dias, Gould percebeu que o grupo de aves era bem diferente do que Darwin lhe descrevera: os “tordos” podiam ser organizados em diferentes espécies de tentilhões, próximas entre si e se diferenciando pelas proporções dos crânios e pelos hábitos alimentares. Segundo Gould, mesmo os bicos grossos e corruções eram outras espécies de tentilhões, também próximas das demais; todos organizados no gênero *Geospiza*, um gênero, descrito por Darwin, “confinado às Ilhas Galápagos” (Darwin, C., 1841, p. 99; Gould, 1837, p. 4). Gould, para completar seu trabalho, deveria identificar as ilhas de onde vieram as aves e repassou a demanda a Darwin, que precisou entrar em contato com aqueles a bordo no navio que haviam coletado aves para suas coleções pessoais e identificado as ilhas, entre eles o próprio capitão FitzRoy. Na própria casa em que Darwin estava, ele recorreu a algumas aves que Syms Covington tinha coletado para si e rotulado corretamente (Desmond e Moore, 2009, pp. 99-100). Assim, esse trabalho coletivo de Darwin, Covington, FitzRoy e Gould foi o que conduziu à descoberta geralmente aclamada como aquela que fez despontar a ideia de seleção natural, isto é, a percepção de que era frágil o limite entre aquilo que se chamava variedade ou espécie e, a olhos desatentos, esses dois conceitos poderiam se confundir com facilidade (cf. Godoy, 1998; Lawson, 2003, p. 52; Pavez e Safuentes, 2008, p. 33; Araújo, 2012, p. 8).

A descoberta do grande número de espécies de fringílídeos que, mesmo habitando um espaço restrito, mantinham-se separas intrigou Darwin e fez lembrar de algo que Nicholas Lawson (1790-1851), vice-governador do arquipélago de Galápagos havia lhe dito: em alguns casos, ali havia espécies distintas em cada ilha. Apesar de Lawson ter tentado ensinar ao naturalista como reconhecer as tartarugas de cada ilha e de ter um jardim que continha plantas identificadas pelas ilhas de origem, naquele momento, Darwin não imaginava que essa distinção fosse realmente possível ou significativa, e não deu atenção ao assunto; no máximo, reparou que poderia notar pequenas diferenças nas variedades de sabiás do campo – aves do gênero *Mimus* – que habitavam uma ilha ou outra (Darwin, C., 1841, pp. 62-64 e pp. 99-100). Ao ver esse padrão, passou a se questionar sobre o mecanismo que teria provocado o surgimento de cada variante (Browne, 2011, pp. 428-429 e p. 471). Darwin, como se percebe por suas anotações pessoais, começou a refletir sobre o pa-

pel da geografia no processo de diferenciação de espécies, e também a considerar tal processo como algo organizado por leis imutáveis, atuando na natureza desde o início dos tempos (Darwin, C., 1837-1838, p. 98). Mas esse seria um pensamento ainda a ser mantido oculto, reservado para seus cadernos de anotações e para Syms Covington, que tomara diversas notas a mando de Darwin, fosse em listas avulsas, rascunhos, ou outros cadernos de notas da época, como as *Ornithological Notes*, apesar de não ter escrito especificamente nos cadernos secretos sobre transmutação (Barlow, 1963; Browne, 2011, pp. 470-471).

Perante a sociedade acadêmica, Darwin mostrava-se como um geólogo. Com ideias inovadoras, alimentadas por suas experiências em campo, Darwin divergia de Lyell em determinadas áreas, desenvolvendo as explicações apresentas por ele sobre os processos de movimentos subterrâneos e apresentando evidências de que mudanças abruptas, “catastróficas”, ocorriam com a crosta terrestre em concomitância com as mudanças lentas. Como resultado dessas mudanças abruptas, o solo da Patagônia havia se elevado em patamares e os Andes haviam se erguido muito mais recentemente do que Lyell poderia sugerir (Browne, 2011, p. 470). Outro tema que tomava a mente de Darwin era o processo de formação dos recifes de corais – tema de um artigo que preparava, juntamente com o relato de viagem (*Ibidem*, p. 487). Graças a seu trabalho sobre essas questões, Darwin passaria a ser considerado um membro destacado dentro da Sociedade Geológica (Wyhe, 2002a).

Apesar dessa frente de trabalho sobre geologia, o pensamento sobre um mundo controlado por leis naturais e imutáveis não deixou a mente de Darwin – e essa não era a primeira vez que a ideia lhe surgia: Janet Browne aponta que, apesar de Darwin ter dito que mantinha posições ortodoxas em relação à religião durante sua época de estudos em Cambridge, há evidências que convencem a historiadora de que, em contato com os pensamentos de Henslow, Herschel e Sedgwick, Darwin estava abraçando as ideias de seus mentores sobre ciência e religião, e assumindo o que ela descreve como “uma posição semelhante à de seu pai e de seu avô, Erasmus Darwin”, visualizando um Deus que trabalhava e operava o mundo por meio das leis naturais (Browne, 2011, p. 197). Na época em que estava de volta a Londres, analisando as coletas da viagem, uma forte sugestão a tais leis foi reapresentada a Darwin em um dos saraus “adorados” por Eras e Martineau (Desmond e Moore, 2009, p. 235), que acontecia na casa de Charles Babbage (1791-1871). Babbage era um inventor que vinha ganhando destaque por publicar uma obra intitulada

da *Ninth Bridgewater Treatise* (Babbage, 1837), além de ser já um antigo conhecido de Darwin, da época de seus estudos em Cambridge, estando presente nas festas promovidas por Henslow (Browne, 2011, p. 194). Os tratados de Bridgewater originais eram oito volumes financiados pelo dinheiro deixado, em seu testamento, pelo Reverendo Francis Henry Egerton, Conde de Bridgewater (1756-1829). Tal dinheiro deveria ser gasto na produção de livros

[...] sobre o poder, a sabedoria e a bondade de Deus, conforme manifestada na Criação; ilustrando tal trabalho com todos os argumentos razoáveis, como por exemplo a variedade e a formação das criaturas de Deus nos reinos animal, vegetal e mineral; o efeito da digestão e, assim, da transformação; a construção da mão do homem, e a infinita variedade de outros argumentos; bem como por descobertas antigas e modernas nas artes, ciências e em toda a extensão da literatura. (Roget, 1836, p. xiii)

Os oito tratados produzidos sob essa diretriz eram obras que seguiam o estilo de *The Wisdom of God*, de John Ray, e *Natural Theology*, de William Paley, defendendo o caráter fixo das espécies e a intervenção constante de Deus, que planejara cada espécie, cada órgão e cada estrutura para que cumprisse um papel na natureza.

O nono tratado, escrito por Babbage, era, na verdade, uma afronta às ideias veiculadas nos oito volumes financiados pelo conde de Bridgewater. Babbage defendia que deveria haver grandes leis, em ação desde o início dos tempos, que regulariam toda a matéria e todos os fenômenos da natureza; e, para Babbage, a descoberta de tais leis não poderia ser feita pela teologia, mas apenas “por uma profunda investigação matemática” (Babbage, 1837 p. 169). Para defender e divulgar seu ponto de vista, Babbage dava saraus para convidados de alta classe, dos quais participavam Darwin e seus amigos. Em um desses saraus, Babbage exibiu seu “motor de diferenças” em funcionamento: segundo Seth Bullock (2000, 2008), uma das primeiras formas de computador inventados que, girando-se algumas engrenagens, poderia ser programada para imprimir números em sequência em uma tira de papel.

Babbage, em sua demonstração, que também está transcrita em seu tratado (Babbage, 1837, p. 36), programou seu motor de diferenças para imprimir, sob olhos atentos, números de 1 a 100.000.001, quando, sem aviso prévio, o próximo número impresso foi 100.010.002, e então 100.030.003, 100.060.004, 100.100.005... mos-

trando que um novo mecanismo de funcionamento estava se manifestando na máquina sem que fosse necessária uma intervenção de seu inventor. Assim, existia desde o início da ação da máquina “uma lei tão complicada” que alguém que tentasse lhe analisar olhando para apenas uns poucos números, não conseguiria compreender toda a profundidade de seu mecanismo (Babbage, 1837, p. 40). Após chamar a atenção de seu público, Babbage propôs que o mesmo raciocínio fosse aplicado à natureza: em vez de imaginar intervenções constantes para o surgimento de novos fenômenos, devia-se imaginar que um conjunto de leis havia sido primeiramente formulado e que os estudiosos, em seu curto período de observação, vendo essas leis já em prática, não conseguiam compreender o mecanismo em toda sua complexidade (Babbage, 1837, cap. 2). No capítulo IV de sua obra, Babbage apresentou uma reflexão sobre a natureza da deposição de fósseis em estratos, cada estrato com uma característica. Seth Bullock (2008) indica que há um paralelo na descrição que Babbage fez dos estratos fósseis e do resultado produzido por seu motor de diferenças. Esse paralelo pode ser observado na figura 16.

Bullock defende que os saltos dados no registro geológico podem ser comparados aos saltos dados na impressão de números pelo motor de diferenças. O que explica tanto um quanto o outro é o mecanismo em atuação desde o início da história da vida na Terra ou do acionamento da máquina; intervenções não foram necessárias em nenhum desses casos. Essas semelhanças caracterizam o que Bullock chama, então, de primeiro modelo de simulação evolutiva (Bullock, 2008).

Figura 16 – Comparação entre registro geológico e registro computacional.

Representação gráfica da deposição de fósseis no registro geológico comparada com diferentes regras adotadas para a impressão de números no motor de diferenças de Babbage ao longo do tempo. Segundo Seth Bullock, essa comparação caracteriza um primeiro modelo de simulação evolutiva. Retirado de Bullock, 2008, p. 478.

Babbage não era o único do círculo de Darwin a falar em leis imutáveis da natureza. Segundo Desmond e Moore (2009, p. 235), Harriet Martineau também “via a natureza de modo previsível, predeterminada e invariável”; “sujeita à lei e à ordem”. Esse raciocínio começou a aparecer também no caderno pessoal de Darwin, em que ele refletia sobre como tais leis poderiam provocar a transmutação das espécies ao longo da história da Terra (Darwin, C., 1837-1838).

Harriet Martineau ofereceu, ainda, uma outra profunda contribuição a Darwin: ela conhecia Thomas Malthus (1766-1834) pessoalmente, e era grande fã de suas ideias. Segundo Adrian Desmond e James Moore (2009, p. 171), o primeiro contato de Darwin com as ideias malthusianas havia se dado em 1834, quando, lendo *Poor laws and paupers illustrated*, de Martineau, viu ali a defesa à ideia de Malthus de que a população crescia rápido demais para o suprimento de alimentos. Os panfletos de Martineau apresentavam uma defesa para a Nova Lei dos Pobres, que diminuía o valor destinado a serviços de assistência social, e demandava que, aqueles que desejassem receber o auxílio, deveriam se submeter ao regime de trabalho e habitação nas *workhouses*, estruturado de maneira rígida, para desencorajar a procura da população. Segundo Desmond e Moore, ainda, foi na época em que Charles Darwin morava com seu irmão, em Londres, que ele teve maior contato com Harriet Martineau e com as ideias de Malthus (Desmond e Moore, 2009, cap. 15). A habitação na casa de Eras se estendeu de 1836 a 1839 – mesma época em que escreveu seus cadernos refletindo sobre a transmutação das espécies (Herbert, 1980, introdução) – e foi justamente em seu caderno D, de 1838, que Darwin registrou suas considerações malthusianas.

Assim, refletindo sobre a diversidade de espécies observadas ao longo da viagem, questionando-se sobre a demarcação entre o que é uma variedade dentro de uma espécie e o que é, de fato, uma espécie – questionamento motivado pela análise de John Gould sobre suas aves das Galápagos –, com as ideias de seu avô, Erasmus, ao fundo de sua mente, bem como as de Lamarck – Darwin aprendera a usar a classificação proposta por Lamarck com o professor Grant, e ainda fazia uso de tal classificação –, imaginando que a natureza teria uma operação com muito mais sentido se fosse regida por leis imutáveis, e transpondo a luta de classes malthusiana para uma competição na natureza, Charles Darwin preencheu 5 cadernos

com anotações e questionamentos sobre a possibilidade de transmutação das espécies (cf. Wyhe, 2002b)³².

A correspondência de Darwin, na época, indica um papel importante, desempenhado por Syms Covington, para auxiliá-lo com a formulação de tais ideias. Trabalhando em tempo integral para Darwin, Covington passou a ajudá-lo com descrições de amostras, mas essas descrições deveriam ser discutidas à luz de transcrições – deixadas também a seu encargo – de trechos de livros de referência (Darwin Correspondence Project, “letter no. 413”); ele também deveria recolher amostras biológicas com colegas naturalistas de Darwin, a fim de revisar descrições de espécies (Darwin Correspondence Project, “letter no. 508”); ocasionalmente, cartas de conteúdo mais importante (Darwin Correspondence Project, “letter no. 378a”) ou que esperavam uma resposta mais urgente (Darwin Correspondence Project, “letter no. 501”) tinham sua entrega confiada pessoalmente às mãos do rapaz, na época com proximamente 24 anos. Os serviços de Syms Covington seriam empregados até que Darwin se casasse com Emma Wedgwood (1808-1896) – sua prima – e se mudasse, em 1839; e seria Covington quem o ajudaria com a preparação da casa em que este iria morar após o casamento (Darwin Correspondence Project, “letter no. 466”).

Quanto mais trabalhava em seus cadernos, mais receios Darwin mantinha a respeito das consequências a que levariam a publicação de suas ideias. Às vésperas de seu casamento, Charles imaginou que, se deixasse vir a público suas ideias, estaria comprometendo a segurança e a respeitabilidade de sua futura família (Desmond e Moore, 2009, cap. 18). Essa insegurança era alimentada pela lembran-

³² Tradicionalmente, reconhece-se a contribuição do gradualismo proposto por Charles Lyell às ideias de modificação lenta do ambiente e das espécies (por exemplo, Vorzimmer, 1969). Na pesquisa histórica realizada, no entanto, nota-se que, em seu caderno vermelho, Darwin só se remeteu a Lyell para discutir questões de geologia. Em seu caderno B, as referências a Lyell discutem questões de distribuição geográfica das espécies. Essas discussões sobre distribuição geográfica e as referências a Lyell foram estendidas no caderno C, e novas referências ao geólogo foram feitas quando Darwin discutia questões de hereditariedade e hibridismo. No caderno D, Darwin só se referiu a Lyell para comparar o trabalho de um geólogo, olhando para as formações geológicas e tendo que preencher os vãos da história observada, a fim de se construir uma crônica sobre a Terra, ao trabalho de um filósofo que pretende contar a história da formação das plantas e dos animais. Apesar dessa comparação de método, não há reflexão sobre a aquisição de conceitos que se relacionem à seleção natural a partir do trabalho de Lyell. No caderno E, por fim, Darwin apresentou questões sobre a relação entre as mudanças geológicas e as mudanças climáticas sem citar Lyell e continuou se referindo ao geólogo apenas como uma fonte de informação sobre a distribuição geográfica das espécies (respectivamente, Herbert, 1980, *passim*; Darwin, C., 1837-1838, *passim*; 1838a, *passim*; 1838b, p. 60; 1838-9, *passim*). Devido à maneira como Darwin se referiu a Lyell em seus cadernos, obtém-se a impressão de que, até 1839 – período que está sendo tratado aqui – Darwin não se respaldou no gradualismo das transformações geológicas para elaborar os mecanismos envolvidos no processo de seleção natural e, por isso, as contribuições de Lyell não estão presentes nesta síntese.

ça de ter visto seu antigo professor, Robert Edmond Grant ter sido ferrenhamente atacado em uma reunião da Sociedade Geológica em 19 de dezembro de 1838: “o ódio dos geólogos pela evolução explodiu em público” (*Ibidem*, pp. 293-294). Contudo, foi a mesma insegurança que, em vez de paralisar Darwin, o instigou a buscar mais e mais evidências para sustentar suas ideias: em 1839, ele iniciou um caderno chamado *Questions and experiments* (Darwin, C., 1839-1844). Darwin já tinha os principais conceitos formulados sobre o funcionamento da seleção natural, mas tudo soava muito como uma hipótese; ele precisava de dados empíricos para sustentar seus argumentos.

2.2.4 A coleta de evidências e a necessidade de publicar

O período que se sucedeu à produção de cadernos com anotações sobre transmutação é marcado pelo casamento de Darwin com Emma Wedgwood (1808-1896) em 1839, pela mudança para a nova casa, em Downe, no condado de Kent, e pelo nascimento dos filhos do casal – 10 filhos, dos quais 7 viveram até a idade adulta. Em sua nova casa, Darwin realizou diversos experimentos e observações, contando com o auxílio de seus colegas e professores de Cambridge e Londres, mas contando também com novos contatos estabelecidos com pesquisadores de outras partes da Europa e dos Estados Unidos. Syms Covington, seu ajudante contratado durante a navegação a bordo do *Beagle*, fora dispensado após a mudança do casal para Downe e viajou para a Austrália – lugar que tanto apreciara (Weitzel, 1998). Darwin contava, então, com a ajuda de seus filhos, conforme eles cresciam, e de seu mordomo, Joseph Parslow (1812-1898). Quando ele não podia realizar experimentos presencialmente, a fim de realizar observações, solicitava que algum colega testasse suas hipóteses e enviasse os resultados por meio de cartas.

Os experimentos e observações realizadas de maneira direta ou indireta buscaram abranger o escopo de espécies mais amplo possível. Tal acúmulo de evidências iria culminar, na primeira edição do *Origem das espécies*, em considerações sobre diversas variedades de plantas selvagens e domésticas, como ervas daninhas, morangos, grama, pêssegos, pinheiros e rododendros, bem como diversas notas sobre animais, também domésticos e selvagens, como galinhas, pombos, bi-

chos-da-seda, porcos, cachorros, ursos, rinocerontes, elefantes, cracas, entre outros, e mais algumas notas sobre embriões e as chamadas “monstruosidades” – embriões portadores de deficiência e de deformidades (Charles, C., 1859).

Durante os anos que sucederam a formulação dos primeiros cadernos com ideias sobre transmutação, Darwin continuou editando a coleção *The zoology of the voyage of H.M.S. Beagle*, que terminaria de ser publicada em 1843; acompanhou também, de perto, a produção de novas edições de seu *Journal of Researches* – o diário de viagem do *Beagle*; publicou uma coleção sobre observações geológicas realizadas durante a viagem que fizera; auxiliou John Herschel com textos para seu *Manual of scientific inquiry*; e escreveu uma extensa monografia, em 4 volumes, sobre cirrípedes viventes e fósseis; além de ter produzido diversos artigos para revistas acadêmicas e revistas populares que circulavam entre criadores (Wyhe, 2002c). Por meio dessas publicações, Darwin conquistou o respaldo de um bom geólogo e bom naturalista, transmitindo uma imagem de se trabalhar dentro do que Thomas Kuhn chamaria “ciência normal” (Kuhn, [1962] 1998; conferir também análise de Winler, 2010), contribuindo para o conhecimento sobre dinâmicas geológicas e para a classificação biológica, mas, até 1844, produzindo, de maneira secreta, anotações sobre algo que viria a alimentar uma revolução a respeito das ideias sobre as espécies.

Imerso nesse processo de experimentação, Darwin buscava pelas tais leis que regulariam as modificações nas espécies. Para ele, era importante encontrar uma “simetria entre o mundo normal e o dos animais e plantas em processo de domesticação”; uma teoria completa deveria ser capaz de explicar o que acontecia “tanto na comunidade rural quanto na história natural convencional” (Browne, 2011, p. 533). Essa ideia de investigar o mundo dos criadores para entender o mundo natural foi sendo maturada a partir de uma visita a uma exposição de pombos em 1838. Adrian Desmond e James Moore explicam que essa curiosidade sobre os pombos e outras variedades domésticas de animais e plantas era algo natural para a família de Darwin: sua própria mãe tivera uma criação de pombos; entre seus tios, havia criadores de carneiros e de dalias; e, desde pequeno, Darwin ouvia conselhos sobre como se obter as variedades pretendidas. Morando no condado rural de Kent, esse processo de criação também era objeto de discussão cotidiana e os donos de terras “possuíam um tesouro de conhecimento sobre a criação de raças domésticas sob encomenda” (Desmond e Moore, 2009, p. 266). Como parte de suas explorações, Darwin associou-se ao clube local de criadores, leu todos os manuais que po-

de acessar por cerca de quinze anos e tornou-se um colaborador frequente para o *Gardeners' Chronicle* (Desmond e Moore, 2009, p. 446; Wyhe, 2002c); foi também com os criadores que Darwin aprendeu sobre a importância de suprimir a prole doentia antes de procriar (Desmond e Moore, 2009, p. 266).

Algo que incomodou Darwin enquanto ele buscava ler sobre as antigas ideias a respeito da modificação das espécies era a grande quantidade de especulações realizadas (Barlow, 1958, 42; Darwin, C., 1838a, p. 63). Portanto, como parte do processo para se afastar do erro observado em outros autores, em 1855, Darwin acabou construindo seu próprio aviário e deu início às suas próprias experimentações com pombos domésticos e, como fizera desde jovem, contou com a colaboração de seu primo, William Darwin Fox, para ajudá-lo nessa empreitada (Darwin Correspondence Project, “letters no. 1651 and 1656”). O trabalho com pombos se mostrava bastante prático, pois, uma vez que os indivíduos acasalavam, mantinham-se monogâmicos durante toda a vida, e isso permitia a criação de várias aves em um mesmo pombal. No processo de criação, investigação, acasalamento, e medição dos pombos, Darwin envolveu também sua filha, Henrietta Emma Darwin (1843-1930), chamada carinhosamente de “Etty”, e relatou que a menina se divertia muito com tudo isso (Browne, 2011, p. 712; Desmond e Moore, 2009, p. 447). Para remover a carne dos ossos, Darwin deveria ferver os animais depois de mortos e, para essa atividade, contou com o auxílio de seu mordomo, Joseph Parslow. Após algumas tentativas, no entanto, o cheiro resultante era tão repugnante que passaram a enviar as aves para que fossem descarnadas profissionalmente (Browne, 2011, pp. 712-713; Desmond e Moore, 2009, pp. 447-448).

Envolvido com esses estudos anatômicos, Darwin trabalhava não apenas com pombos, mas também com patos, pintinhos, perus, potros e cães – espécimes que tinha em sua casa ou que chegavam pelo correio, sendo muitas dessas remessas enviadas por seu primo Fox (Desmond e Moore, 2009, pp. 447-448). Apesar da grande quantidade de animais-modelo, os pombos pareciam ser aqueles que mais fascinavam Darwin e sua filha Etty. Durante o estudo dessas aves, Darwin chegou a fazer, inclusive, investigações sobre a maneira de abate que parecia causar menos sofrimento aos animais: o clorofórmio apresentava um processo muito demorado, o que o fazia preferir utilizar o gás prússico emanado por uma garrafa cheia de cianeto de potássio (Darwin Correspondence Project, “letter no. 1728”; Desmond e Moore,

2009, p. 447). Além dos estudos anatômicos, com algumas medições tendo sido sugeridas por Fox, Darwin estava se propondo também a investigar o efeito do desuso no processo de variação de características (Darwin Correspondence Project, “letter no. 1675”).

Ao longo dos vários acasalamientos e de outros experimentos que fazia, Darwin sofreu diversas frustrações, tendo de lidar com vieses e resultados inesperados, como os pombos arrancando penas uns dos outros (Darwin Correspondence Project, “letter no. 1678”). Tais frustrações e resultados inesperados, bem como erros de interpretação e de formulação de experimentos, fazem parte do processo de investigação científica e mostra como mesmo as mentes mais brilhantes estão sujeitas a isso (Allchin, 2015). Da mesma maneira, esse episódio mostra que não existe um método científico universal, sem falhas (Allchin, 2013; Lederman *et al.*, 2002, pp. 501-502). Mesmo enfrentando tais problemas, Darwin chegou a observações que impressionavam tanto a ele como a outros colegas naturalistas: os esqueletos e as proporções diferiam de uma variedade para outra e os “corpúsculos sanguíneos” também eram diferentes, e esses resultados podiam ser obtidos tanto com pombos quanto com coelhos. Ao mostrar esses resultados para Lyell e para George Robert Waterhouse (1810-1888), ambos chegaram à conclusão de que os naturalistas estritamente acadêmicos deveriam considerar as variedades de Darwin como espécies, talvez gêneros diferentes (Darwin Correspondence Project, “letter no. 1862”, nota 10, e “letter no. 1950”).

Boa parte do interesse de Darwin em observar animais de maneira prática se desenvolveu em consequência da leitura de *Vestiges of the Natural History of Creation*, publicado em 1844 por Robert Chambers. Ao ler a obra, que apresentava um panorama de progressão das espécies, Darwin mais uma vez notou o grande volume de especulação envolvida na produção daquele trabalho – elemento também criticado por outros naturalistas – e reafirmou para si mesmo que, para ser capaz de apresentar suas ideias e contra argumentar com o que era apresentado ali, deveria mergulhar nos estudos dos seres vivos. (Darwin Correspondence Project, “letters no. 814, 862, 915 and 919”). Aguçando essa sensação de Darwin, Joseph Dalton Hooker (1817-1911), botânico e grande amigo de Darwin desde que ele voltara de viagem, havia comentado que julgava ser “necessário alguém ter manuseado centenas de espécies, com habilidade para distingui-las, sendo elas de vários lugares do globo”, “para se mostrar apto a lidar com o tema” das espécies (Darwin Corresponden-

ce Project, “letter no. 916”). A fim de conquistar, então, o direito de discutir as espécies e sua mutabilidade, Darwin decidiu realizar uma investigação meticulosa com a população de minúsculas cracas que ele e Covington haviam coletado no Chile quando viajavam a bordo do *Beagle* (*Ibidem*, “letter no. 916”, nota 4).

O início do trabalho com as cracas coincidia com o fim da edição do *Zoology of the voyage of H.M.S. Beagle*; essa espécie não fora incorporada à série de livros e Darwin antecipava um artigo curto sobre ela, com no máximo um ano de trabalho para analisá-la e compará-la a outras espécies (Desmond e Moore, 209, p. 360). As cracas, até a década de 1830, haviam sido agrupadas como parte dos moluscos; após um estudo de suas formas larvais realizadas por John Vaughan Thompson (1779-1847), elas foram transferidas para o grupo dos crustáceos, mas suas relações internas de parentesco e a maneira de estudá-las não fora revisada. Como consequência, quando Darwin começou a solicitar espécimes emprestadas a Richard Owen, que trabalhava no *Royal College of Surgeons*, e outros naturalistas souberam do trabalho de Darwin, ele rapidamente começou a receber ofertas tanto de outras cracas como de demais animais marinhos com concha, em diversos estágios de desenvolvimento larval, o que ele aproveitou para a realização de uma comparação meticulosa. Quando mais Darwin desenvolvia sua comparação, no entanto, mais problemas surgiam e mais amostras ele requisitava, a fim de que pudesse realizar novas análises. Nesse ritmo, Darwin passou a estudar também outro gênero de cracas além daquele que, até então, Darwin chamava “*Arthrobalanus*”, sua meta inicial.

Ao final de um ano de trabalho, conquiliologistas, empolgados com o andamento dos trabalhos de Darwin, o incentivavam a realizar uma revisão completa do grupo de cirripedes (Desmond e Moore, 2009, pp. 360-363). E assim Darwin fez, em um processo que se prolongou por oito anos (Darwin Correspondence Project, “letter no. 272”) e culminou com a produção de 4 volumes, sendo dois publicados pela *Ray Society* sobre cirripedes viventes, em que eram descritas 153 espécies, distribuídas entre 31 gêneros, divididos em 5 famílias diferentes, e mais 7 espécies de gêneros incertos dentro da família Lepadidae (Darwin, C., 1851a, 1854b); e mais dois volumes sobre cirripedes fósseis, publicados pela *Palaeontographical Society*, em que eram descritas 43 espécies, pertencentes a três gêneros e distribuídas em três famílias. No processo de descrição das espécies fósseis, no caso da família Lepadidae,

Darwin ainda se reportou a mais 12 espécies que já haviam sido descritas (Darwin, C., 1851b, 1854a). Esse trabalho meticuloso de Darwin foi profundamente elogiado e, em consideração à soma de seus trabalhos *Geological Observations on Coral Reefs, Volcanic Islands, and on South America*, e *Fossil Cirhipeda of Great Britain*, ele foi condecorado com a *Royal Medal* da *Royal Society of London* em 1854 (The Royal Society, 2018).

Fazendo jus à sua busca por um mecanismo que afetasse e modificasse as espécies de maneira universal, Darwin também mergulhou em um profundo trabalho com plantas. No caso desses seres vivos, duas questões lhe intrigavam: se ele podia aplicar a lógica malthusiana de competição por recursos também às plantas e, admitindo-se uma origem única para todas as espécies, se existia um mecanismo plausível de dispersão intercontinental. A respeito da primeira questão, Darwin utilizou seu próprio jardim como ambiente de experimentação: em um primeiro experimento, ele removeu todas as plantas de uma área e, ao longo de dias de observação, deixou que essa área fosse colonizada sem interferência, enquanto registrava todos exemplares de plantas que apareciam e que eram destruídos no processo de competição por espaço ou por predação; e, em um segundo experimento, apenas deixou que a grama de uma porção de seu jardim crescesse livremente, sem poda, enquanto repetia o mesmo processo de anotação. Os resultados obtidos nesses dois experimentos passaram a incorporar os dados registrados no *Origem das espécies*, desde a primeira edição e perduraram até a sexta:

Numa área de um metro por sessenta centímetros, removida e limpa, e onde não poderia haver obstrução de outras plantas, marquei todas as mudas de nossas ervas nativas assim que apareciam e, das trezentas e cinquenta e sete sementes, nada menos de duzentas e noventa e cinco foram destruídas, sobretudo por lesmas e insetos. Se deixar crescer a relva constantemente aparada ou usada como pasto por quadrúpedes, as plantas mais vigorosas acabarão por matar, de forma gradual, as menos vigorosas, embora estas plantas possam estar totalmente crescidas; assim, de cerca de vinte espécies germinadas em uma área de um metro por um metro e vinte centímetros de relva cortada, nove espécies pereceram e às demais espécies foi permitido crescer em liberdade (Darwin, C., [1872] 2014, pp. 97-98).

A respeito da segunda questão, sobre a dispersão das espécies, Darwin vivenciou um longo processo, marcado muitas vezes por frustração, incômodo com mal cheiro e quebra de expectativas, em que ele deixou sementes diversas em água

salgada ao longo de dias a fim de verificar se elas poderiam boiar pelo oceano e chegar a uma ilha ou a outro continente. É importante observar que essa questão e seu processo de teste de hipótese partiam de um panorama em que Darwin, anterior à consolidação da teoria sobre a deriva continental, não aceitava a ideia de supercontinentes que surgia, e também negava outras hipóteses da época, como a existência de um continente chamado “Atlântida”, outrora localizado no meio do Oceano Atlântico e que teria afundado (Silva, 2013, p. 31). O processo é descrito em uma sequência de cartas enviadas, em grande volume a Joseph Dalton Hooker, que havia lhe apresentado o problema de se explicar o fato de uma mesma espécie de plantas poder ser encontrada em mais de um lugar pelo mundo, e quem achava que o sal presente na água do mar mataria as sementes (cf. Darwin Correspondence Project, “letters no. 1661-1763”, enviadas de Darwin a Hooker – 11 cartas). Apesar da frustração relata nas cartas, Darwin não desistiu dos experimentos e foi com alegria e surpresa que ele relatou que algumas sementes voltavam a boiar após algum tempo, e muitas delas, mesmo tendo passado dias imersas em água salgada – os períodos variavam de duas semanas a 40 dias –, germinavam normalmente. Os resultados foram divulgados em carta ao *Gardeners’ Chronicle* (Darwin Correspondence Project, “letter no. 1684”).

Ainda sobre o assunto de dispersão de sementes, Darwin testou se elas poderiam ser carregadas pelo oceano sobre partes flutuantes de plantas ou presas às patas de aves e depois germinar. Os resultados também foram bem-sucedidos (Silva, 2013, p. 32). Outro teste foi o plantio de sementes retiradas de fezes de aves e de pelotas vomitadas por corujas, e essas sementes também germinaram e contribuíram para que Darwin reafirmasse sua ideia de origem única e dispersão das espécies (Darwin Correspondence Project, “letters no. 1978 and no. 1986”).

À medida em que Darwin trabalhava em suas observações e experimentos, e desenvolvia o que chamava de “seleção natural”, ele foi se distanciando da ideia de que todos os elementos da criação tinham um propósito – ideia aprendida com suas leituras de William Paley e que, por sua vez, traziam muito do que John Ray já havia estabelecido anos antes. Ao se deparar, por exemplo, com a questão da presença de mamilos em machos e com a presença de um cóccix humano como uma cauda vestigial, “Darwin escarneceu da ideia comum de que Deus criara estes bocados e pedaços rudimentares para completar satisfatoriamente o plano dos vertebrados”,

como se Deus seguisse um projeto original “ao seu máximo esgotamento”; para ele, era absurda a ideia de que os projetos de um Deus onipotente pudessem se esgotar, e era muito mais simples a explicação de que esses elementos eram “sobras herdadas, remanescentes ancestrais” (Desmond e Moore, 2009, p. 291). Outra consequência desse processo de desenvolvimento oculto de suas ideias, e da apreensão por estar rompendo com ideias religiosas bem aceitas na sociedade em que estava imerso, foi seu adoecimento.

2.2.5 O processo de divulgação da teoria

Desde a viagem a bordo do *Beagle*, Darwin constantemente reportava mal-estar de seu estômago, tanto enquanto estava a bordo do navio quanto quando estava andando por terra. Ao longo dos anos que seguiram a viagem, Darwin reportou mais e mais mal-estares, e tentou diferentes tratamentos, sendo que o que lhe pareceu ter funcionado melhor foi um complexo tratamento com água, que envolvia múltiplos banhos ao dia, algumas vezes com água quente, mas muitas vezes com água fria. Esse tratamento, chamado “hidroterapia” havia sido recomendado pelo médico James Manby Gully (1808-1883), que possuía uma clínica em Malvern, onde Darwin se hospedou em 1849, a fim de receber um tratamento completo (Desmond e Moore, 2009, cap. 24). Darwin seguiu as recomendações de Gully à risca e, mesmo em casa, contava com seu mordomo, Parslow, para lhe auxiliar com os banhos. Darwin chegou a achar que estava curado de seu mau estar e era extremamente grato ao Dr. Gully em função do bem-estar conquistado (Browne, 2011, p. 678). Essa sensação de confiança no tratamento durou até que, após receber o mesmo tratamento, sua filha Anne Elizabeth não pode ser curada das complicações que se sucederam a uma escarlatina e faleceu, aos 9 anos de idade, em 1851 (*Ibidem*, pp. 678-681). Depois desse episódio, a confiança de Darwin na hidroterapia diminuiu e ele passou a evitar a casa de banhos do Dr. Gully. O tempo mostrou também que ele não estava curado e, apesar de haver conjecturas sobre seu mal-estar gástrico ser uma possível consequência de uma doença de Chagas, adquirida durante a viagem pela América do Sul, as biografias de Janet Browne e de Adrian Desmond e James Moore indicam que era muito mais provável que Darwin tivesse uma gastrite nervosa (Browne, 2011, *passim*; Desmond e Moore, 2009, *passim*).

Em função de seu mal-estar constante, Darwin tinha receio de falecer ou ficar incapacitado antes de conseguir publicar suas ideias que, conforme foram sendo desenvolvidas e sendo corroboradas por experimentos, passaram a ser organizadas em rascunhos. O primeiro rascunho data de 1842, com 13 folhas escritas a lápis, aparentemente às pressas, omitindo-se artigos e com frases pouco coesas (Darwin, F., 1909, p. xx). Dois anos depois, esse rascunho foi ampliado para um de 230 folhas, também a lápis, mas em melhor estilo de escrita, apesar de não ter a coerência e coesão de uma obra terminada (*Ibidem*, p. xxv). Esse rascunho de 1844 foi, inicialmente, apresentado a Emma, esposa de Darwin, com instruções para publicação em caso de sua morte (*Ibidem*, pp. xxvi-xxviii). Foi a partir desses rascunhos, segundo Janet Browne, que Darwin passou a utilizar a expressão “seleção natural” e, a partir deles, Darwin também já havia determinado sua estratégia de abordar a seleção natural sem discutir temas religiosos ou a origem do homem (Browne, 2011, pp. 601-603 e pp. 610-611); foi também nos rascunhos que Darwin passou a expor uma associação entre a modificação gradual do planeta, exposta por Lyell, e a modificação das espécies (*Ibidem*, pp. 625-626 e p. 631).

Em 1844, Darwin começou também a realizar uma divulgação contida de sua seleção natural dentro de seu círculo de amizades intelectual e a primeira pessoa fora de sua família a saber de seus pensamentos sobre transmutação foi Hooker. A amizade entre os naturalistas começou quando Henslow havia indicado Hooker, recém retornado de sua própria exploração de 4 anos como cirurgião assistente de um navio – viagem na qual também aproveitara para realizar coletas botânicas –, para analisar alguns espécimes de plantas coletadas por Darwin. Em contato, os dois naturalistas-viajantes começaram a nutrir uma admiração recíproca, e Darwin sentia uma extrema confiança em Hooker, a ponto de cogitá-lo como editor de seu rascunho sobre transmutação. A abertura a respeito dos primeiros indícios a respeito do que Darwin pensava se deu, então por meio de uma carta, que despertou a curiosidade de Hooker, e isso estreitou ainda mais a amizade dos dois (Browne, 2009, pp. 620-621; Desmond e Moore, 2009, p. 364). Da mesma forma, Darwin escreveu a Leonard Jenyns (1800-1893), geólogo que compartilhava muitas opiniões com Darwin sobre as dinâmicas do planeta, apresentando sua ideia de que as espécies eram mutáveis, e sondando sua reação; Jenyns também se interessou pelo que Darwin tinha a dizer (*Ibidem*, pp. 625-626). É importante, aqui, considerar que essas cartas

e rascunhos foram produzidos antes da publicação de *Vestiges of the Natural History of Creation*, de Chambers e, portanto, as reações que essa obra despertara e o vislumbre sobre a necessidade de ser menos especulativo que Chambers foram também interpretadas como uma necessidade de inserções de dados em seus rascunhos (*Ibidem*, pp. 631-632). Também pode-se assumir que foi em função dessa cronologia que Darwin sentiu-se tão à vontade para discutir a dispersão das espécies de plantas com Hooker, que já tinha alguma noção sobre o pensamento de Darwin sobre transmutação, após ter finalizado o trabalho com as cracas.

Após 1844, enquanto trabalhava com as cracas, Darwin e Hooker encontraram-se pessoalmente muitas vezes e, paulatinamente, Darwin foi lhe dando mais e mais pistas a respeito do que pensava, até que finalmente se sentiu à vontade para entregar o rascunho original para ser lido na íntegra (Desmond e Moore, 2009, p. 365). Ao mesmo tempo questionado, desafiado e incentivado por Hooker, os trabalhos com as sementes e os testes de competição e sobrevivência entre as plantas conduziram Darwin a um caminho de maior confiança a respeito de sua própria teoria; mas foi o trabalho com os pombos que o deixou seguro para expandir o círculo de pessoas conhecedoras de suas ideias ocultas. Para Darwin, seus estudos com pombos foram os mais importantes que fizera, ilustrando o potencial da seleção natural, em consequência de sua comparação com a seleção artificial (Martins, R., 2012, p. 92)

Darwin confessou suas ideias a respeito da transmutação por meio de seleção natural a Lyell em abril de 1856 citando especialmente os dados sobre os pombos. Isso, por um lado, confundiu Lyell, que achava difícil distinguir entre os princípios de Darwin e de Lamarck, mas, por outro lado, impressionou o geólogo, que urgiu Darwin a tornar seus dados públicos, a fim de que a comunidade de naturalistas pudesse analisá-los e produzir uma explicação para a produção de variedades tão distintas, capazes de ser confundidas com verdadeiras espécies (Darwin Correspondence Project, “letter no. 1862”, nota 7).

Outra pessoa que entrava no círculo de confiança de Darwin era Thomas Henry Huxley (1825-1895). Ele e Darwin haviam se conhecido em 1853, quando Huxley era um naturalista no início de carreira, realizando trabalhos avulsos, catalogando ascídias no *British Museum* (Desmond e Moore, 2009, p. 426). Em 1856, Huxley já era considerado um “especialista em moluscos, medusas e outras criaturas marinhas” e era professor na *Royal Institution* (*Ibidem*, p. 451). Darwin e Hooker

reconheciam a astúcia e perspicácia do rapaz que, além de excelente naturalista, apresentava grande engajamento em prol da defesa de seu trabalho e de seus colegas; de fato, ele estava empenhado a instituir a profissão de “cientista”, adotando o termo cunhado pelo filósofo William Whewell (1794-1866)³³: “um respeitável grupo de trabalhadores intelectuais que deveria ser remunerado com dignidade para servir à população” (Desmond e Moore, 2009, p. 451). Para Huxley, a ciência não precisava ter qualquer conexão com a teologia, e esse posicionamento chamou a atenção de Darwin, que justamente receava as críticas de cunho teológico.

Huxley, no entanto, repugnava o *Vestiges* e qualquer noção de progressão de espécies ou a ideia de que houvesse uma conexão entre os fósseis e as espécies viventes, como propunha Richard Owen, que havia estabelecido uma linhagem ancestral para os cavalos (Desmond e Moore, 2009, p. 453). Após estudar minuciosamente as contraposições de Huxley, Darwin o convidou, juntamente com Hooker e Thomas Vernon Wallaston (1822-1878) – entomólogo que, pautado nas publicações de Darwin, desenvolvera um estudo meticuloso sobre as variações apresentadas entre os indivíduos de mesma espécie de insetos – para passar um final de semana em sua casa. No dia 27 de abril de 1856, Darwin questionou um a um e apresentou seus argumentos sobre a transmutação. Ao final do dia, todos cederam à argumentação de Darwin; a situação foi relatada a Lyell que, por sua vez, divulgou as ideias e os feitos de Darwin a seu cunhado, Sir Charles James Fox Bunbury (1809-1886), que também era naturalista e com quem Darwin já havia conversado sobre a possibilidade de espécies se modificarem, descrevendo o ocorrido como uma “investida contra as espécies” (Browne, 2011, p. 726; Darwin Correspondence Project, “letter no. 1862”, nota 7; Desmond e Moore, 2009, pp. 454-456).

O episódio deixou Darwin satisfeito e mais seguro a respeito de como publicar suas ideias. Ele produziria um livro intitulado *Natural Selection*, e conteria todos os exemplos e argumentos em que trabalhara até agora. Tal compilação, no entanto, tomaria tempo, que ele estava disposto a dedicar a fim de que o livro tivesse a qualidade merecida (Desmond e Moore, 2009, esp. pp. 483-487). Lyell, no entanto, urgiu

³³ O termo “cientista” foi cunhado por William Whewell, que usou o termo em resenha publicada anonimamente em 1834; em 1840, o termo apareceu claramente proposto na sua obra *The Philosophy of the Inductive Sciences*: “Nós precisamos muito de um nome para descrever um cultivador da ciência em geral. Eu me inclinaria a chamá-lo de um cientista. Assim, poderíamos dizer que enquanto aquele que é um artista, é um músico, pintor ou poeta, o que é um cientista é um matemático, físico ou naturalista” (Whewell, 1840, v. 1, p. cxiii).

Darwin a publicar suas ideias o quanto antes, e se manteve incentivando a publicação com urgência a cada oportunidade que tinha. Por exemplo, ao ler *On the law which has regulated the introduction of new species*, de Alfred Russel Wallace (1823-1913), ele julgara que as ideias apresentadas ali eram muito próximas do que Darwin propunha e enfatizou a necessidade de publicação. Edward Blyth (1810-1873), zoólogo amigo de Darwin que também tomou conhecimento do pensamento sobre transmutação que estava sendo desenvolvido, teve a mesma reação ao ler o trabalho de Wallace; mas Darwin julgou que aquele artigo apenas falava sobre o relacionamento entre as espécies fósseis e viventes – algo que já estava em pauta na literatura científica e que não afetava seu trabalho (Browne, 2011, p. 727).

Darwin soube que Wallace estava viajando pelo arquipélago malaio e decidiu escrever para ele, no final de 1856, solicitando remessas de espécies – o que foi atendido (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2004”, nota 4). Na próxima carta a Wallace, já em 1857, Darwin aproveitou, então, para agradecer as remessas e discutir o artigo lido, afirmando a quantidade de semelhanças entre os pensamentos dos dois naturalistas e relatando:

Neste verão, fará 20 anos desde que abri meu primeiro caderno sobre a questão de como e de por que meios as espécies e variedades diferem umas das outras. – Estou agora preparando meu trabalho para publicação, mas eu acho o assunto tão vasto que, embora eu tenha escrito muitos capítulos, não suponho que eu deva vir a publicá-lo em [menos de] dois anos (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2086”).

E ofereceu a Wallace:

Nunca me falaram quanto tempo você pretende ficar no arquipélago malaio; eu creio que possa lucrar com a publicação de suas Viagens aí, antes que meu trabalho apareça, pois, sem dúvida, você irá colher uma grande quantidade de fatos (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2086”).

Wallace não publicou seu relato de viagens até 1869 (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2086”, nota 5), e, no fragmento recuperado da carta-resposta a Darwin, Wallace apenas lamentou que seu artigo não tivesse suscitado mais discussão. Disse que o que era apresentado ali era seu panorama teórico, e que agora estava se dedicando a recolher evidências que o corroborassem (Darwin Corres-

pondence Project, “letter no. 2145”). A resposta de Darwin foi escrita em dezembro de 1857, afirmando que o artigo de Wallace havia suscitado, sim, discussão, e que Lyell e Blythe que chamaram a atenção de Darwin para seu conteúdo e, como fizera na carta anterior, Darwin aproveitava para discutir alguns aspectos das ideias de Wallace e dos avanços de sua publicação sobre as espécies (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2129”).

Wallace ficou feliz de poder discutir suas ideias com alguém que pensava parecido e escreveu a seu amigo, Henry Walter Bates (1825-1892), relatando:

Eu fiquei muito grato com uma carta de Darwin, na qual ele diz concordar com “quase cada palavra” de meu artigo. Ele está, agora, preparando seu grande trabalho sobre “Espécies e Variedades”, sobre o qual ele vem colecionando materiais por vinte anos. Ele pode me poupar o trabalho de escrever mais sobre minha hipótese, provando que não existe diferença na natureza entre a origem das espécies e das variedades; ou ele pode me dar mais trabalho, chegando a outra conclusão; mas, de qualquer maneira, seus fatos serão algo sobre os quais eu poderei trabalhar (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2285”, nota 2).

Essas palavras de Wallace são importantes para nos mostrar que ele concordou em deixar Darwin publicar primeiro e estabelecer a prioridade sobre seus estudos, e não estava em um espírito competitivo quando, em sua próxima carta a Darwin, enviou um manuscrito e pediu que fosse encaminhado a Lyell, a fim de ver se esse texto também lhe chamava a atenção, como acontecera com o artigo que ele próprio havia mostrado a Darwin (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2285”, nota 6). Em comunicação com Lyell, Darwin enfatizou que Wallace não falava em publicar aquele manuscrito, mas disse que se via obrigado a lhe sugerir a publicação, por cordialidade; imediatamente ele e Lyell começaram a discutir como proceder a respeito dessa questão, e se seria uma atitude honrada Darwin preparar e publicar, naquele momento, um pequeno resumo a respeito de seu trabalho sobre as espécies (Darwin Correspondence Project, “letters no 2285, 2294 and 2295”). Darwin também escreveu a Hooker e, juntos, Lyell e Hooker decidiram que o melhor a se fazer seria publicar um texto que divulgasse tanto as ideias de Darwin quanto as de Wallace (Darwin Correspondence Project, “letters no. 2297”).

Darwin trabalhou o mais rápido que pode, ao final do mês de junho, reafirmando que, no ano anterior, escrevera também para Asa Gray (1810-1888), botâni-

co americano que lhe ajudara muitas vezes com suas dúvidas, divulgando todo seu processo de pensamento, e que tinha, também na América, um defensor de sua prioridade no debate sobre as espécies (Darwin Correspondence Project, “letters no. 2136 and 2294”). Também às pressas, selecionou uma passagem de seu rascunho de 1844 para publicação, junto com o manuscrito de Wallace. O resultado desse trabalho foi encaminhado para a *Linnean Society*, junto com uma carta conjunta de Lyell e Hooker, reforçando a prioridade de Darwin (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2299”). Todo o conjunto foi lido, em uma reunião especial da sociedade, no dia 1 de julho de 1858 e publicado no *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London*, na seção de Zoologia, volume 3, em agosto do mesmo ano, com o título “*On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection*” (Darwin e Wallace, 1858). Assim, às pressas, Darwin finalmente vinha a público e prometia expandir aquelas notas em um livro que seria publicado em breve.

2.2.6 O Origem das Espécies e seu impacto

Após ver o trabalho publicado pela *Linnean Society*, Wallace escreveu para Hooker, agradecido pela publicação e pelo reconhecimento, uma vez que Darwin claramente tinha a prioridade de publicação, e acrescentou:

Teria me causado muita dor e arrependimento se o excesso de generosidade do Sr. Darwin o levasse a publicar meu trabalho desacompanhado de suas visões muito anteriores e, sem dúvida, muito mais completas a respeito do assunto (Darwin Correspondence Project, “letter no. 2337”).

Darwin, por sua vez, ficou mais tranquilo a respeito de seus medos em publicar. Não houve reação à publicação conjunta sobre a modificação de espécies – o presidente da *Linnean Society*, Thomas Bell (1792-1880), inclusive lamentara que o ano não fora “marcado por uma dessas descobertas admiráveis que revolucionaram [...] o departamento de ciência” (Desmond e Moore, 2009, p. 491). Naquele momento, Darwin estava com outras preocupações: seu filho, Charles Warring Darwin, de dois anos, havia falecido em função de um surto de escarlatina; sua filha, Henrietta,

também estava doente; e sua irmã mais velha, Marianne, faleceu 15 dias após seu menino (Desmond e Moore, 2009, pp. 491-492).

Ainda que preocupado com a família, Darwin tinha pressa para publicar um relato mais desenvolvido de sua teoria do que aquelas poucas páginas lidas pela *Linnean Society*. Ele, então, abriu mão de publicar seu grande livro, *Natural Selection*, e começou a trabalhar no que seria um resumo dele – que terminaria com 155 mil palavras, revisadas por Thomas Huxley e recomendadas por Lyell ao editor John Murray (Desmond e Moore, 2009, p. 494). O título original deveria ser *Resumo de um Ensaio sobre a Origem das Espécies e Variedades por Meio da Seleção Natural*, mas, por influência de Murray, Darwin o reduziu para *Sobre a Origem das Espécies por Meio da Seleção Natural* (*Ibidem*, pp. 495-496).

O livro continha 14 capítulos, cuidadosamente organizados para construir com o leitor a ideia de como funcionaria o processo de seleção natural – capítulos intitulados “Variação sob domesticação”, “Variação na natureza”, “Luta pela sobrevivência”, “Seleção natural” –, mais um capítulo de consolidação – “Leis da variação” –, um capítulo de discussão – “Dificuldades da teoria” –, mais sete de aplicação e aprofundamento da discussão – “Instinto”, “Hibridismo”, “Sobre a imperfeição do registro geológico”, “Sobre a sucessão geológica dos seres orgânicos”, “Distribuição geográfica” (dois capítulos) e “Afinidades mútuas dos seres orgânicos: morfologia; embriologia; órgãos rudimentares” – e mais um capítulo de “Recapitulação e conclusão”. Toda essa estrutura foi discutida por Ernst Mayr como um conjunto, na verdade, de cinco teorias: evolução propriamente dita, descendência comum, gradualismo, multiplicação de espécies e seleção natural; cada um desses pontos é sustentado por diversas evidências e esse conjunto é estruturado de tal maneira que permitiria ao leitor concordar com alguns pontos, mas refutar outros (Mayr, 2005³⁴ *apud* Silva, 2013, cap. 3).

Ao ler toda a complexidade da teoria de Darwin, durante o processo de revisão, Huxley passou a enxergar também a transmutação como “um elemento sólido para separar a ciência da teologia” – sua grande meta – e, a partir disso e como era particular de seu temperamento, tornou-se um ferrenho defensor de Darwin (Desmond e Moore, 2009, p. 493). Huxley ficara maravilhado com a ideia de um ancestral

³⁴ MAYR, Ernst. **Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. Tradução: Marcelo Leite. São Paulo, Companhia das Letras, 2005.

comum entre o homem e os símios, implicada nos escritos de Darwin, pois isso lhe permitia desbancar o que era dito no Gênese bíblico e, munido de novos argumentos, acirrou sua disputa com Richard Owen, que não abria mão de princípios teológicos (*Ibidem*, pp. 493-494).

A questão sobre a origem do homem, que não deveria ser diferente da de qualquer espécie, já constava na resenha anônima – provavelmente escrita pelo próprio editor, John Murray – que antecipava a publicação do chamado “livro das espécies” (Bizzo, 2014, p. 8). Essa questão chamou a atenção do público e conquistou um bom número de vendas, mas perturbou a comunidade de naturalistas e, mesmo Lyell, que estava admirado com a obra e ansioso para ler mais sobre o assunto, ficou incomodado, sentindo que a “dignidade da espécie [humana] estava em jogo” (Desmond e Moore, 2009, p. 496). Em consequência disso, o *Origem das Espécies* ganhou muitas resenhas, que, em geral, eram longas e nada amigáveis (Bizzo, 2014), mas, segundo William Chambers, as piores críticas ainda não chegavam perto daquilo que havia sido dito anos antes contra o *Vestiges of the Natural History of Creation*. Para Chambers, a mentalidade das pessoas havia mudado e agora os discursos eram menos religiosos e enfatizavam mais a liberdade de expressão (Chambers, W., 1872, p. 256).

Jean Louis Armand de Quatrefages de Bréau (1810-1892), naturalista francês que desenvolveu suas próprias ideias sobre a modificação das espécies, iria dizer que, além da questão da origem do homem, o ponto da teoria de Darwin que causou mais discórdia em sua época e a tornou impalatável para muitos pesquisadores foi o fato de todos os seres vivos estarem unidos por um ancestral em comum e a ideia de que isso levaria a um organismo único que não teria um antecessor, e cuja origem deveria ser atribuída simplesmente às leis físico-químicas (Quatrefages, 1870).

Outro ponto que chamou a atenção foi a comparação dos processos a que estavam sujeitas as espécies domésticas e selvagens, gerando estranheza entre os cientistas e filósofos. Tradicionalmente, esses pesquisadores desenvolviam um trabalho contemplativo, buscando as “leis e significados dentro da Criação” por meio de análises de espécimes selvagens; não se imaginava que “porcos e pombos fossem a chave do mistério dos mistérios” (Desmond e Moore, 2009, p. 446).

Conforme as críticas surgiam, a saúde de Darwin se debilitava e ele se rendia a seu instinto de ficar recluso. Nesse momento, seus amigos e figuras proeminentes nos estudos da natureza, Thomas Henry Huxley, Joseph Hooker, Alfred Russel Wal-

lace, Charles Lyell e Asa Gray foram os responsáveis pela divulgação da teoria e por sua defesa (Browne, 2011, p. 24). Enquanto essas figuras assumiam a linha de frente na defesa do *Origem das Espécies*, Darwin coletava mais informações e já preparava material para uma segunda edição de seu livro, a ser publicada no ano seguinte.

Ao longo dos anos, Darwin nunca chegou a publicar *Natural Selection* como pretendia um dia, mas fez o melhor possível para responder a todas as questões e críticas que recebia, acompanhando pessoalmente o processo de reedição do *Origem*, que chegaria à sua sexta edição, em 1872 (Bordalejo, 2009); contudo, apesar dos esforços de Darwin as críticas nunca pararam: pouco tempo após o lançamento do *Origem*, John Edward Gray (1800-1875), responsável pela parte de zoologia do Museu Britânico, disse a Darwin que ele não fizera mais do que republicar as ideias de Lamarck, e achava uma grande inconsistência ver naturalistas renomados que, por anos haviam criticado Lamarck, abraçarem as ideias de Darwin (Darwin, F., 1887, p. 243-244); o Cardeal Henry Edward Manning (1808-1892), da Catedral de Westminster, denunciou Darwin por ter dispensado Deus do "trabalho da criação"; e William Whewell (1794-1866) negou um lugar para o *Origem* na biblioteca do Trinity College.

Mesmo imersa em críticas, a obra foi reconhecida, no entanto, como “notável contribuição à cena intelectual” da época (Browne, 2007, p. 8), e com exceção das sátiras, não se atacava, exatamente, a figura de Darwin enquanto naturalista. Na verdade, quando ele faleceu, em 1882, foi enterrado na abadia de Westminster, como “O maior inglês desde Newton”, segundo nota na revista *Times* da época (*Ibidem*, p. 11). O *Origem* despertou tanto alvoroço que as ideias descritas rapidamente alcançaram outros países e havia comentários sendo emitidos da França, Alemanha, Itália, Suécia, Rússia e América do Norte (*Ibidem*, p. 140). Mesmo dentro da Igreja Anglicana houve quem gostasse da lógica de Darwin, como o reverendo Baden Powell (1796-1860), que também era professor de geometria em Oxford: ele considerou o *Origem* como “um volume magistral”, dizendo que não havia milagres e se pronunciando em favor do “grande princípio dos poderes de evolução autônoma da natureza” (*Ibidem*, pp. 142-143).

A oposição, apesar de vir de fontes variáveis, raramente se mostrou como algo permanente. Nas palavras de Janet Browne, “os calvinistas, por exemplo conse-

guiram aceitar a ideia da seleção natural combinando-a com a luta da humanidade para superar o pecado”; “havia também cristãos liberais dispostos a aceitar a evolução como um fato da natureza e, se fosse possível, conciliá-la com princípios morais”. A evolução, aos poucos, era compreendida como uma lei natural; talvez criada por Deus e, mesmo aqueles que haviam criticado Darwin, em um primeiro momento, confortavam-se com essa ideia (Browne, 2007, p. 144). Alguns cientistas – já adotando o vocábulo introduzido por Whewell e difundido por Huxley– também encontraram conforto nesse panorama e passaram a associar ao trabalho de Darwin um olhar teleológico que, segundo Janet Browne, não existia (*Ibidem*, p. 145), mas que ainda é objeto de debate (ver, por exemplo, Regner, 1995; Richards e Ruse, 2016).

Darwin, apesar de não sair de sua casa, acompanhou tudo de perto por meio de sua rede de correspondência; uma das maiores e mais eficientes redes de correspondência sobre história natural da época (Browne, 2011, p. 657, e 2007, p. 146). Por um lado, é provável que, sem essa supervisão minuciosa, sua teoria poderia não durar tanto tempo (Browne, 2007, p. 146); por outro lado, todo esse debate trouxe bastante angústia e mal-estar a Darwin (Bizzo, 2014, p. 8).

Os trabalhos em função do *Origem* e de suas reedições ocuparam muito a mente de Darwin até o final de sua vida, mas suas atividades não se limitaram apenas a isso. Ele acompanhou de perto também as reedições de suas demais obras sobre a viagem a bordo do *Beagle*, discutindo também algumas de suas traduções, escreveu livros sobre a fertilização de orquídeas, e sobre a fertilização cruzada e autofertilização em geral; outros livros sobre os movimento das plantas – em especial de trepadeiras e plantas carnívoras –; desenvolveu trabalhos sobre as expressões de emoções nos homens e nos animais; dedicou um livro à variação sob domesticação, e produziu mais dois volumes sobre a descendência do homem e o papel da seleção sexual; escreveu diversos trabalhos discutindo a natureza da experimentação em animais e vivissecção; escreveu uma biografia sobre seu avô e uma autobiografia, cujos excertos seriam publicados por seu filho, Francis (1848-1925), e uma versão completo seria editada por sua neta, Emma Nora Barlow (1885-1989); e terminou sua vida escrevendo sobre húmus e minhocas, além de ter produzido mais de 170 artigos após o *Origem das Espécies* (Wyhe, 2002c).

Quando Darwin faleceu, poucos tomavam a seleção natural como um princípio capaz de modificar as espécies; outras ideias foram surgindo ou sendo resgatadas, caracterizando o que foi chamado de “Eclipse do Darwinismo”; a “lei natural” de

Darwin passaria por um longo período de debate até ser resgatada na “síntese moderna da evolução” (Bowler, 1983). No entanto, mais do que esse legado, a vida e a obra de Darwin são um exemplo de que um cientista não trabalha de maneira isolada. Para desenvolver suas ideias, angariar dados e divulgar seus resultados, Darwin esteve o tempo todo imerso em um processo coletivo.

3 Descobrindo a seleção natural: uma proposta de sequência didática

Com base no episódio histórico descrito no capítulo anterior e nos pontos ali ressaltados, buscou-se produzir, validar, aplicar e analisar os objetivos educacionais alcançados por uma sequência didática para turmas de 9º ano de uma escola particular do município de São Paulo. Tal sequência foi intitulada “Descobrindo a seleção natural”.

Este capítulo apresenta o processo que constituiu o cumprimento dos objetivos apresentados na introdução desta dissertação – desenvolver, aplicar e avaliar uma sequência didática baseada na história da ciência e que traga dentro de si um jogo eletrônico como uma de suas estratégias de ensino. Essa sequência didática vem acompanhada de objetivos específicos de aprendizagem sobre o conceito de seleção natural e sobre aspectos meta-científicos: com base na história de Darwin, caracterizar a ciência como um empreendimento coletivo e que envolve um processo complexo de produção do conhecimento, que requer empenho dos cientistas, em oposição à ideia de produção instantânea de caixas pretas. Tais objetivos serão avaliados no próximo capítulo.

Para que esses objetivos de aprendizagem pudessem ser cumpridos, cada intervenção que compõe a sequência didática foi planejada com metas a respeito da compreensão que gostaria de se ver desenvolvida nos alunos a respeito de conceitos históricos, científicos e meta-científicos, bem como metas para o desenvolvimento de habilidades de investigação.

A sequência didática foi pensada não apenas como uma atividade de ensino, mas, mais especialmente, como um instrumento de pesquisa, composto de eixos que compreendem a relação professor-aluno e a relação entre o conhecimento científico e o mundo real. Tais eixos são sobrepostos e complementados com as relações de alunos e professores com o mundo material e com o conhecimento científico, formando o que Martine Méheut e Dimitri Psillos chamam de losango didático (Méheut e Psillos, 2004; fig. 17).

Figura 17 – Losango didático.

Fonte: Retirado de Méheut e Psillos (2004, p. 517)

Referenciada por esse modelo, a estruturação de uma sequência didática visa a elaboração de um conjunto de aulas que seja capaz de promover um movimento dinâmico nesses eixos, aproximando e afastando professor e aluno sobre a dimensão pedagógica em situações de maior e menor direcionamento do professor e também promovendo diferentes olhares para o conhecimento científico e para o mundo material, o que pode ser entendido como um deslizamento da dimensão pedagógica sobre o eixo da dimensão epistêmica. Tomando-se esse modelo para a estruturação de uma sequência didática, cada momento didático é planejado considerando-se diferentes dinâmicas de interação entre os elementos do losango didático: um momento em que o professor guia um grupo de alunos na correção de uma atividade, por exemplo, estreita a dimensão pedagógica, deixando alunos e professor mais próximos, e, dependendo do tema discutido na atividade, o eixo da dimensão pedagógica pode cruzar o eixo de dimensão epistêmica em um ponto mais acima do losango – próximo do “conhecimento científico” – ou mais abaixo – próximo do “mundo material” (fig. 18). Outra situação didática seria o professor deixar os alunos explorarem por conta própria um simulador virtual: o eixo da dimensão pedagógica estaria mais longo do que na situação anterior, mostrando um distanciamento entre alunos e professor, mas a simulação virtual encurtaria a dimensão epistêmica, aproximando “conhecimento científico” de “mundo material” e, uma vez que o aluno é quem detém o controle dessa exploração, o eixo da dimensão epistêmica estaria deslocado para a direita, próximo do aluno (fig. 19). Esse planejamento pedagógico tem a vantagem

Figura 18 – A dimensão pedagógica se aproxima do conhecimento científico.

Dinâmica didática de uma discussão de exercícios teóricos: professor e aluno interagem de maneira próxima entre si e ambos próximos ao conhecimento científico. Adaptado de Méheut e Psillos, 2004.

Figura 19 – O aluno trabalha de maneira independente sobre a dimensão epistêmica.

Dinâmica didática de estudo por meio de uma simulação virtual. Os alunos são responsáveis por estabelecer as relações entre mundo material e conhecimento científico com o auxílio da simulação; o professor fica mais distante, supervisionando o grupo de alunos. Adaptado de Méheut e Psillos, 2004.

de permitir uma análise da aplicação da aula, verificando-se se realmente ocorreu a dinâmica planejada ou não, e por quê.

A estruturação de uma sequência didática pensando nas interações entre alunos, professor, mundo material e conhecimento científico está de acordo também com a ferramenta de análise apresentada por Eduardo Mortimer e Phill Scott (2002). Segundo os autores, uma aula ou sequência de aulas pode ser planejada para que ocorram diferentes formas de comunicação entre alunos e professor, com momentos interativos e não-interativos e em momentos de discurso dialógico, em que várias pessoas expressam suas ideias ou uma pessoa expressa as ideias do coletivo, e

momentos de discurso de autoridade, quando o professor se torna um expositor das concepções científicas – isso poderia ser representado pela figura 19 com o eixo epistêmico deslocado para a esquerda.

No modelo proposto por Mortimer e Scott, a aula ou sequência didática se torna mais significativa para o aluno se consegue promover diferentes momentos com diferentes associações desses parâmetros, isso é, ora momentos interativos e dialógicos; ora momentos interativos e com discurso de autoridade; ora momentos não interativos, mas ainda assim dialógicos; e ora momentos não interativos e sustentados por discurso de autoridade (Mortimer e Scott, 2002, p. 303). Como acontece com o losango didático, o modelo para abordagem comunicativa de Mortimer e Scott também fornece parâmetro para se analisar e verificar se a dinâmica de aulas cumpriu com o que foi planejado e por quê.

Devido às contribuições complementares desses dois modelos para planejamento e avaliação da sequência didática, optou-se por sua adoção como referenciais teóricos tanto para a elaboração quanto para a validação da sequência didática desenvolvida neste trabalho.

Orientando uma organização das aulas de maneira que elas pudessem, de fato, se converter em uma sequência de atividades balizadas pelo desenrolar do episódio histórico a ser explorado, adotou-se também como estratégia de ensino a formatação das aulas em uma estrutura narrativa, inspirada na obra *Teaching the Nature of Science: Perspectives and Resources*, de Douglas Allchin (Allchin, 2013). O autor expôs exemplos e discussões sobre como aplicar as técnicas mencionadas no livro durante a disciplina “Ensino de História e Natureza da Ciência”, ministrada na Universidade de São Paulo em 2015 e essa experiência permitiu que se alinhasse com maior precisão a estruturação da narrativa presente na sequência didática com a proposta de Allchin. Na mesma linha de ensino de ciências por meio de narrativas históricas, adotou-se também o trabalho de Don Metz “*Story interrupted: using history and philosophy of science in everyday instruction*”, capítulo do livro *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*, editado por Cibelle Celestino Silva e Maria Elice Brzezinski Prestes (Metz, 2013).

De maneira geral, tanto Metz quanto Allchin defendem uma utilização instrumental da história e da filosofia da ciência para promover engajamento e imersão dos alunos nas atividades de aula. Nessa perspectiva de “história como uma ferra-

menta” (Allchin, 2013, p. 28), torna-se válido narrar a história no tempo presente, como se ela estivesse se desenrolando diante dos olhos do aluno, e torná-la um processo marcadamente descontínuo, interrompido de tempos em tempos para a promoção de reflexão, análise, simulações e tomadas de decisões por parte dos estudantes. Dessa forma, como aponta Metz (2013, p. 391), o aluno vai se apropriando da perspectiva e do contexto histórico ao longo do processo de ensino e aprendizagem e, assim, é capaz de construir seus conhecimentos por meio de um processo investigativo: estratégia também incorporada na sequência didática.

Por sua vez, o ensino por investigação, como a estrutura narrativa, é marcadamente reconhecido por promover engajamento por parte dos estudantes e, assim, favorecer um processo de construção de conhecimentos por parte do aluno (Zampero e Laburú, 2010). Segundo Erik Flavio Vinturi e colaboradores, o ensino por investigação consegue promover engajamento e construção de conhecimentos por meio de situações-problema que conduzem à elaboração de hipóteses, análise de evidências, formulação de conclusões e comunicação entre pares (Vinturi *et al.*, 2012, p. 3).

Dentre as diferentes formas de se promover investigação no ensino de ciências, encontra-se na literatura a estratégia de aprendizagem baseada em jogos eletrônicos (Leith, Ratan e Wohn, 2016, p. 655). O jogo eletrônico pode se converter em uma virtualização de uma saída de campo, fornecendo ao aluno a oportunidade de se apropriar e interagir com um espaço e um tempo virtual de forma tão significativa que chega a descrever o comando de um avatar em um ambiente virtual como se fosse seu próprio corpo em um ambiente real (Gregório, 2014, pp. 57-58). Esse ambiente virtual em que o aluno se sente imerso converte-se em um espaço a ser explorado pelo aluno-jogador e, tanto dentro do contexto de jogo quando nas interações com os colegas, provocadas pela prática de jogar o mesmo jogo que os demais, o aluno descobre a possibilidade de utilizar suas habilidades investigativas com plena capacidade e liberdade (Leith, Ratan e Wohn, 2016, p. 656). Alex Leith, Rabindra Ratan e Dhongee Wohn também defendem que se associe o jogo eletrônico com um design narrativo, de maneira que o aluno possa aprender conceitos essencialmente teóricos por meio de participação na história apresentada (*Ibidem*, p. 664). Seguindo, então, essa sugestão dos autores, adotou-se o jogo eletrônico como uma das estratégias de ensino que incorpora a sequência didática construída.

Entende-se que, para se alcançar os objetivos de aprendizagem propostos e aplicar, de maneira efetiva, as estratégias de ensino apresentadas, é necessário o desenvolvimento de materiais instrucionais adequados, tanto para a condução das aulas quanto para a avaliação que encerra a sequência didática. Seguindo, então, mais uma vez o exemplo fornecido por Douglas Allchin no curso ministrado na Universidade de São Paulo em 2015, estabeleceu-se que slides ricos em ilustrações históricas e esquemas seriam utilizados para ilustrar, a todo instante, o contexto histórico abordado na narrativa que também foi desenvolvida especificamente para se promover os objetivos almejados.

Ainda inspirado no curso de Douglas Allchin e incorporando-se também ideias de Don Metz (2013), a própria maneira de conduzir a narrativa histórica, com orações com verbos no tempo presente e entremeada por questões que se dispõe ao longo do desenrolar da história em pontos previamente pensados e articulados para uma maior promoção de engajamento e reflexão sobre aspectos de natureza da ciência por parte dos alunos deve se converter em material instrucional, disponível ao professor na forma de um documento que pode ser consultado durante a aula. Para maior sensação de imersão na narrativa – principalmente em seu momento inicial – utiliza-se a música do período histórico como um dos materiais de ensino; para maior imersão nas ideias dos cientistas e pensadores estudados, utiliza-se textos didáticos, disponibilizados para os alunos, elaborados para a sequência didática a partir do estudo histórico realizado nesta pesquisa.

Para o desenvolvimento da estratégia de aprendizagem por jogos, optou-se também pela criação de um jogo eletrônico específico para esta sequência didática: o jogo intitulado “Uma ideia perigosa?”, que segue o estilo *role-playing game* (RPG) e foi desenvolvido por meio da *engine*³⁵ RPG Maker MV – desenvolvido e distribuído pelas empresas Enterbrain, Inc. (© 2016) e Degica (© 2016) –, cuja licença foi adquirida em 2015.

O jogo foi planejado como uma ferramenta de ensino e aprendizagem, seguindo as diretrizes básicas apresentadas por Jane McGonigal (2011) para que algo possa ser considerado um jogo – analógico ou digital – e, de maneira mais complexa, seguindo também as diretrizes apresentadas por de Amer Ibrahim e colaborado-

³⁵ Chama-se *engine* a plataforma de desenvolvimento que permite a estruturação e integração dos códigos de programação e da parte gráfica de um software.

res (2012) para que um software possa ser considerado um jogo educativo – a análise de “Uma ideia perigosa?” segundo essas diretrizes pode ser observada no Anexo A.

“Uma ideia perigosa?” foi distribuído aos alunos por meio de ferramentas de compartilhamento em nuvem e a dinâmica de interação entre os alunos e o jogo foi registrada, a fim de permitir um refinamento do software e posterior distribuição como aplicativo para celulares e tablets.

Para encerrar a sequência didática, elaborou-se uma avaliação na forma de trabalho em grupo que consistiu em uma primeira etapa para recapitulação dos processos envolvidos na teoria de seleção natural, e outra etapa destinada à elaboração de um cartaz divulgando e exemplificando a seleção natural com base na recapitulação feita anteriormente. O conjunto completo de objetivos, estratégias para alcançá-los e materiais instrucionais que possibilitam a aplicação das estratégias está resumido na tabela 1.

O público alvo para a aplicação da sequência planejada consistiu de duas salas de 9º ano, com cerca de 30 alunos, na escola parceira. Seria a primeira vez que os alunos teriam um contato formal com o ensino de evolução biológica e seus processos, apesar de já terem ouvido falar sobre Charles Darwin nas aulas de história do 6º e 7º ano, quando os professores discutem as origens do ser humano e fornecem uma explicação prévia sobre evolução humana.

O autor deste trabalho é também professor das turmas a que foram aplicadas a sequência didática, portanto toda a intervenção foi planejada como uma pesquisa-ação, abordagem que configura uma intervenção realizada pelo professor-pesquisador capaz de aprimorar as habilidades de ensino do profissional e a aprendizagem de seus alunos (Tripp, 2005, p. 445). Segundo Guido Irineu Engel a pesquisa-ação é uma estratégia indicada para superar a lacuna entre a teoria das pesquisas em educação e a prática de sala de aula, e funciona por meio da promoção de inovação no espaço de aprendizagem (Engel, 2000, p. 182).

O processo de elaboração da sequência didática, até chegar em sua versão final, passou por diferentes processos de validação: inicialmente, cada uma das aulas planejadas, bem como os testes utilizados para a pesquisa, foram discutidos com pesquisadores membros do Laboratório de História da Biologia e Ensino, sediado no Instituto de Biociências, na Universidade de São Paulo; com o auxílio desses pesquisadores, as dinâmicas e materiais didáticos propostos passaram por um primeiro

Tabela 1 – Objetivos da sequência didática, estratégias para alcançá-los e materiais instrucionais para aplicação das estratégias em sala de aula

Sequência didática “Descobrimos a Seleção Natural”		
OBJETIVOS	ESTRATÉGIAS	MATERIAIS INSTRUCIONAIS
<p><u>Conceitual</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Explicar o que é e como funciona a seleção natural. <p><u>Históricos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Contextualizar o pensamento sobre o caráter fixo ou variável das espécies antes de Darwin; - Discutir e analisar o processo de formulação do conceito de seleção natural de Darwin entre 1836 e 1839; - Representar Darwin como um experimentador; - Discutir e analisar o processo de publicação do <i>Origem das Espécies</i>. <p><u>Meta-científicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar a ciência como um empreendimento coletivo; - Retratar a ciência como um processo complexo de produção de conhecimento, que requer empenho dos cientistas, em oposição à geração instantânea de caixas pretas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sequência didática (Méheut e Psillos, 2004); - Diferentes formas de processo comunicativo em sala de aula (Mortimer e Scott, 2002); - Narrativa / contação de história (Allchin, 2013; Metz, 2013) - Ensino por investigação (Zampero e Laburú, 2010; Vinturi <i>et al.</i>, 2012).; - Aprendizagem baseada em jogos eletrônicos (Gregório, 2014; Leith, Ratan e Wohn, 2016). 	<ul style="list-style-type: none"> - Narrativa histórica estruturada com questões para a reflexão; - Slides para a ilustração da narrativa; - Música para imersão no contexto histórico - Textos e imagens para leituras, análises e discussões; - Jogo didático - Dinâmica de trabalho em grupo para avaliação.

refinamento, com o objetivo de haver uma maior coesão entre os objetivos de aprendizagem propostos e as dinâmicas de sala de aula. Os pesquisadores membros desse laboratório desenvolvem, ou já desenvolveram, estudos de mestrado e doutorado na interface da história da ciência com o ensino de ciências. Além disso, a maioria dos membros atua na Educação Básica (Ensino Fundamental ou Médio) e, portanto, realizaram contribuições baseadas em sua expertise. Além da experiência de sala de aula, esses pesquisadores também têm experiência com esse processo

de validação que antecede a aplicação de uma sequência didática; essa estratégia foi adotada, mais recentemente, nas dissertações de mestrado de Tatiana Tavares da Silva (2013) e Rosa Andrea Lopes de Souza (2014) e na tese de doutorado de Gerda Maisa Jensen (2016), além de outras, em andamento.

A sequência validada junto aos pesquisadores do Laboratório, entendida como a “primeira versão” da sequência didática, foi aplicada a alunos em 2016. Dados a respeito do processo de aplicação da sequência didática foram obtidos por meio de uma triangulação envolvendo coletas com gravações de áudio, caderno de campo do professor-pesquisador, pré e pós-testes e atividades diversas realizadas ao longo da sequência didática. Esses dados foram utilizados para realização de uma segunda validação das dinâmicas propostas e um consequente refinamento das práticas para reaplicação em 2017. Seguindo os procedimentos da ética em pesquisa envolvendo seres humanos (resolução CNS 466/2012), a participação dos alunos nesta pesquisa foi autorizada por seus pais ou responsáveis, por meio do preenchimento e da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, apresentado no Anexo B.

A sequência didática aplicada em 2016 será caracterizada, daqui em diante, como “primeira versão” da sequência didática, e todo o seu processo de elaboração, validação junto ao grupo de pesquisa e validação *in loco*, como resultado de aplicação a escola parceira será discutido em detalhes neste capítulo. A versão da sequência didática aplicada em 2017 será caracterizada como “segunda versão”, e ela será vista como um fruto da validação e refinamento da “primeira versão”. A segunda versão da sequência didática será considerada como a real sequência de atividades planejada como um recurso para se alcançar os objetivos desta sequência didática – diga-se promover o processo de ensino e aprendizagem do conceito científico de seleção natural e de aspectos meta-científicos com base na história de darwin, como o do trabalho coletivo na ciência e descrição da ciência como uma produção complexa de conhecimento – em oposição à produção instantânea de caixas pretas. Os resultados do pré- e pós-teste da segunda versão da sequência didática serão discutidos no capítulo 4, de Resultados e Discussão.

3.1 Construção e validação da primeira versão da sequência didática

Inicialmente, a sequência didática foi pensada em quatro intervenções de 90 minutos, cada uma versando sobre uma parte diferente do episódio histórico abordado: a contextualização da discussão sobre fixismo e transmutação que ocorreu anteriormente a Darwin; a formulação do conceito de seleção natural de Darwin entre 1836 e 1839; a representação de Darwin como um experimentador e a publicação do *Origem das Espécies*; e, além dessas, planejou-se mais duas intervenções de 45 minutos para aplicação do pré- e do pós-teste.

Uma das características da escola onde a sequência foi aplicada é a adoção de *iPads* como parte do material didático; desse modo, os textos destinados aos alunos e os slides apresentados em sala de aula foram distribuídos aos alunos de maneira eletrônica. Esses recursos, vinculados tanto à primeira quanto à segunda versão da sequência didática, estão disponíveis para consulta em uma pasta compartilhada por meio do Google Drive. Tal pasta pode ser visualizada em https://drive.google.com/open?id=1jsF8-AK4WD92XncZVPyKQ2_GGHxLZAJf e seus conteúdos estão descritos no Anexo C.

Na escola em que a intervenção foi realizada, os alunos são organizados em turmas de cerca de 30 alunos e têm três aulas de ciências por semana, cada uma de 45 minutos, sendo que essas aulas se distribuem na semana como uma sequência de 90 minutos em um dia e, no dia seguinte, uma única aula de 45 minutos. Dessa forma, toda a aplicação deveria se estender por três semanas. Essa dinâmica exigiria que algumas das intervenções da sequência fossem quebradas em dois blocos, mas nenhum prejuízo foi previsto como decorrência desse arranjo.

A seguir apresenta-se, de maneira esquemática, o que foi inicialmente planejado para a sequência didática, antes de sua primeira validação, e como os pesquisadores do Laboratório de História da Biologia e Ensino contribuíram para seu refinamento e edição para a primeira versão a ser aplicada em sala de aula. Ressalta-se que o papel dos pesquisadores durante essa validação foi bastante valioso: com a ajuda deles, chegou-se à formulação de muitas das questões apresentadas tanto ao longo da sequência didática, na forma de exercícios, quanto das questões do pré- e pós-teste; foi também graças a esses pesquisadores que se obteve uma melhor compreensão a respeito do que é, de como se ensinar e de como avaliar aspectos

de natureza da ciência; e foram eles que apresentaram e discutiram muitos dos referenciais teóricos adotados para toda esta pesquisa. Maiores detalhes sobre os apontamentos feitos pelos pesquisadores são apresentados ao final de cada intervenção e uma cópia dos arquivos produzidos como consequência dessa validação, e aplicados em sala em 2016, é apresentada no CD em anexo a esta dissertação. Uma discussão sobre como se deu tal aplicação *in loco* será apresentada após a descrição de toda a sequência.

1ª Intervenção: pré-teste

Duração: 45 minutos

Metas:

- Captar informações sobre as impressões e conhecimentos prévios dos alunos a respeito do papel da genialidade de um cientista e do trabalho com dedicação, seja sozinho ou de maneira coletiva, no desenvolvimento de sua produção científica;
- Captar informações sobre as impressões e conhecimentos prévios dos alunos a respeito do que eles imaginam que seja evolução e de como imaginam que esse fenômeno funcione.

Dinâmica: duas questões a serem respondidas por extenso, sem limite de espaço para a resposta:

- **Questão 1:** É comum ouvirmos de maneira repetida o nome de alguns cientistas vinculados a conceitos importantes da ciência: Darwin e evolução, Newton e as leis do universo, Einstein e a relatividade... Até que ponto a fama desses cientistas é fruto de sua genialidade, de seu trabalho duro (individual ou coletivo) ou de um balanço entre essas duas características?
- **Questão 2:** O que é evolução? Como ela acontece? Forneça um exemplo.

Essas questões foram formuladas inspirando-se no teste *Knowledge of the Nature of Whole Science* – KNOWS, de Douglas Allchin (2012), e elaboradas com ajuda desse autor.

Validação: Não houve acréscimos ou alterações no pré-teste imaginado.

2ª intervenção – Breve história da transmutação

Duração: 90 minutos

Metas:

Conhecimentos históricos

- Conhecer o pensamento e os movimentos vinculados à ciência que permeavam a história natural ao longo dos séculos XVIII e XIX;
- Entender que a ideia de modificação dos seres vivos é uma consequência natural em um processo de investigação uma vez que se determina o que são os fósseis.

Conhecimentos científicos

- Compreender a origem e saber aplicar os conceitos de: fósseis, transmutação, uso e desuso.

Conhecimentos meta-científicos

- Discutir como as crenças dos estudiosos abordados implicam sobre o seu fazer científico e convivem com a ciência produzida, sem que haja, necessariamente, um conflito entre crença e ciência;
- Manifestar uma visão informada sobre as dinâmicas internas à ciência: os cientistas não trabalham de maneira isolada; há competição e colaboração entre eles.

Habilidades de investigação

- Construir hipóteses;
- Concatenar informações e construir um modelo teórico.

Dinâmica: Foi produzido um estudo de caso histórico, abordando pensamentos defensores do fixismo e da transmutação ao longo do século XVIII e início do XIX. A aula se iniciaria com uma apresentação da imagem anatômica de um olho humano em corte e os alunos seriam questionados sobre por que nós temos olhos e por que eles são tão complexos, com cada parte funcionando em conjunto com as demais, de maneira aparentemente “perfeita”. O professor-pesquisador deveria provocar os alunos, questionando-os: “Por que enxergamos?”, “Por que o olho tem todas essas partes?”, “Por que o olho tem esse formato?”. Uma série de perguntas, enfim, iniciadas com “por que”, até que os alunos enunciassem a popular frase “Por-

que Deus quis”, e essa frase marcaria a oportunidade para se discutir que uma enunciação como essa, hoje incomum em uma aula de ciências, outrora fez sentido.

A partir desse ponto, os pensamentos de John Ray, expressos em *The wisdom of God*, seriam ressaltados, discutindo-se sua adoção no início do século XVIII e sua repetição no início do XIX por William Paley, em *Natural theology*. Ao falar de cada autor, os alunos veriam suas imagens em uma projeção de slides, juntamente com imagens dos livros citados, e a aula prosseguiria abordando-se as ideias que se localizaram, historicamente, entre esses dois trabalhos: diga-se, as ideias de Buffon, Cuvier e Lamarck, enfatizando-se os conflitos entre esses pesquisadores. A intervenção terminaria falando um pouco sobre Robert Edmond Grant e sua inspiração, não só em Lamarck, mas também em Erasmus Darwin e Étienne Geoffroy Saint-Hilaire.

Seguindo o modelo apresentado por Douglas Allchin em seu curso ministrado na Universidade de São Paulo ao longo do segundo semestre de 2015, o professor-pesquisador deveria ter em mãos um roteiro de aula com a história a ser contada já escrita, de maneira a se manter fiel ao estudo de caso preparado. Os verbos deveriam estar sempre no presente, a fim de promover a sensação de que tudo está se desenrolando diante dos olhos do aluno; e a dinâmica deveria ser interrompida de tempos em tempos, para que se realizassem questões e reflexões sobre o desenrolar da história e sobre questões de natureza da ciência – recursos que buscam promover tanto uma maior imersão na história, quanto uma compreensão esclarecida da natureza da ciência. Além disso, nesse texto que seria lido aos alunos, haveria passagens traduzidas das obras dos autores discutidos, de modo que os escritos originais se misturassem com a narrativa escrita pelo professor-pesquisador.

Validação: Os pesquisadores e professores apontaram o fato de que o modelo de contação de história utilizado e demonstrado por Douglas Allchin era aplicado em aulas ministradas para pós-graduandos. Provavelmente, alunos de Ensino Fundamental não conseguiriam manter a atenção a uma história longa e, por isso, a dinâmica deveria ser encurtada para duas intervenções distintas.

Na primeira das intervenções, dever-se-ia buscar ambientar os alunos na Inglaterra e na França do século XVIII. Para isso, recomendou-se a utilização de imagens não só dos cientistas, mas também da população em geral e das construções, além de se utilizar música da época. Uma vez criada tal ambientação, essa primeira aula deveria falar apenas sobre John Ray, William Paley, Buffon e Georges Cuvier.

Lamarck, Robert Grant e apenas a apresentação de Erasmus Darwin deveriam ser tema da segunda intervenção, e, de preferência, deveria haver diferenças na maneira em que essas duas intervenções seriam ministradas. Calculou-se que o novo tempo de cada intervenção seria de 45 minutos para cada proposta e todas as sugestões foram acatadas.

Por fim, foi apontado também que seria mais interessante que os próprios alunos tivessem a chance de ler as traduções que constariam na narrativa, além de apenas ouvi-los. Pensando-se nisso, foram preparados textos para serem distribuídos aos alunos antes de a aula começar, a fim de que se estabelecesse um primeiro contato com os autores discutidos. Esses textos consistiriam de minibiografias científicas e traria um ou dois excertos traduzidos de suas obras.

3ª intervenção – Primeiras ideias de Darwin

Duração: 90 minutos (duas dinâmicas diferentes, organizadas em 45 min. + 45 min.)

Metas:

Conhecimentos históricos

- Conhecer o contexto histórico e sociocultural vitoriano em que Darwin estava imerso e que o influenciava durante a idealização de sua teoria de seleção natural e diversificação das espécies.

Conhecimentos científicos

- Compreender a origem e saber aplicar o conceito de Seleção Natural;
- Compreender a dificuldade de se estabelecer uma demarcação entre variedade e espécie e perceber que essa mesma dificuldade possibilita a ideia de modificação das espécies.

Conhecimentos meta-científicos

- Analisar, dentro do processo de construção de conhecimento vivenciado por Darwin, o processo de colaboração entre pesquisadores de diferentes especialidades;
- Perceber a colaboração como algo regular dentro do processo de construção da ciência.

Habilidades de investigação

- Consultar diferentes materiais;
- Consultar especialistas;
- Discutir descobertas e informações com os colegas.

Dinâmica: Os primeiros 45 minutos da aula seriam passados com os alunos jogando o jogo eletrônico então chamado “Uma ideia perigosa”. Tal jogo foi produzido com a ferramenta RPG Maker MV (desenvolvido e distribuído por Enterbrain, 2016 e Degica, 2016) e trata-se de um *Role-Playing Game* (RPG): um jogo no qual o aluno assume o papel de um personagem e se vê protagonizando uma aventura em um mundo virtual, no qual pode interagir com outros personagens – todos, no caso, programados para serem controlados pelo computador – e com os próprios objetos desse mundo, passando a sensação de imersão na realidade de jogo. Um fator que também contribui para a inserção de jogos no estilo RPG em sala de aula é sua relativa facilidade de construção. A presença de trabalhos acadêmicos que fazem uso da ferramenta de *engine* RPG Maker já é registrada na literatura (por exemplo Diniz, 2006; Silva et al., 2013). Algumas versões dessa ferramenta podem ser obtidas gratuitamente do site da distribuidora³⁶ e mesmo versões pagas podem ser testadas por um mês grátis. Os requisitos exigidos do computador são compatíveis com a grande maioria das máquinas hoje utilizadas nas escolas (Moura, 2008) e seu uso não exige conhecimentos em programação ou em design, uma vez que a *engine* já apresenta, em sua interface, elementos gráficos para personagens e cenários. Devido a tal simplicidade de uso, existem abordagens didáticas que colocam o aluno como criador do jogo (Cruz, Albuquerque e Azevedo 2011).

“Uma ideia perigosa” foi produzido pelo autor deste trabalho, especialmente para esta sequência didática, pensado para que os alunos o jogassem a partir de seus iPads. Dentro do ambiente de jogo, os alunos assumiriam o papel de Syms Covington, auxiliar de Charles Darwin, e deveriam cumprir três missões principais: (i) entregar os aves coletados a John Gould e reportar sua análise a Darwin; (ii) comparecer a um sarau oferecido por Charles Babbage, ver a demonstração de seu motor de diferenças, acompanhar sua exposição sobre o funcionamento da natureza por meio de leis e conversar com Darwin sobre isso, vendo o naturalista aplicar o raciocínio à transmutação das espécies; e (iii) comparecer a um jantar com Charles Dar-

³⁶ www.rpgmakerweb.com

win, seu irmão, Erasmus, e Harriet Martineau, em que o jogador acompanhará uma conversa sobre as ideias de Thomas Malthus. Todos esses são eventos que ocorreram entre 1836 e 1839. As missões são atribuídas ao jogador, respectivamente, por Charles Darwin, Erasmus Darwin e Harriet Martineau, logo na primeira tela do jogo, ambientada na casa de Charles e Erasmus; mas, para cumpri-las, o jogador deverá se deslocar por uma versão simplificada do mapa de *West-End*, em Londres, no qual poderá observar o parlamento, uma porção do jardim zoológico e os prédios da *Linnean Society*, *Zoological Society* e *Royal Society*.

Na Londres virtual, o aluno pode conversar com os personagens controlados pelo computador, e ouvir informações sobre a discussão política a respeito do fornecimento ou não de subsídios para a população carente, informações sobre a força que a religião e o fixismo tinham para estudiosos e leigos, e informações sobre a visão que a sociedade, em geral, tinha a respeito das mulheres. Após passear por essa Londres virtual e completar as três missões, o aluno ouvirá Darwin formulando os princípios gerais sobre a seleção natural, mas dizendo que percebia que a época não era propícia para publicação, e que deveria começar a realizar experimentos e angariar dados que suportassem suas ideias.

Após os 45 minutos destinados ao jogo, os alunos seriam convidados a uma grande discussão a respeito do que foi aprendido em cada uma das missões, aprofundando-se, nos conceitos históricos, científicos e de natureza da ciência observados. Durante tal discussão, o professor-pesquisador deveria incentivar os alunos a fazerem um registro do conteúdo, de maneira que pudessem recorrer tanto ao jogo como uma ferramenta de estudos mais completa, quanto a seus cadernos, para consultas pontuais.

Validação: O título do jogo chamou a atenção dos membros do Laboratório de História da Biologia e Ensino, por se assemelhar ao título da obra de Daniel Dennett, *Darwin's dangerous idea*. Sugeriu-se, então, a incorporação de um ponto de interrogação ao título, transformando-o em “Uma ideia perigosa?”, de maneira que o sentido da expressão mudasse e tal questionamento pudesse ser repassado aos alunos no momento pós-jogo. Também se sugeriu incorporar um sistema de aquisição de experiência ao jogo e se atribuir um desafio à sala como um todo para a aquisição mínima de experiência; se a sala vencesse o desafio, todos os alunos de-

veriam ganhar uma pontuação extra às suas notas. Todas essas sugestões foram acatadas.

Jogos educativos, como o que se propôs aplicar, têm ferramentas próprias de validação e uma literatura particular. Para se validar o jogo eletrônico dessa maneira, empregaram-se as diretrizes de Amer Ibrahim e colaboradores, expostas no artigo *“Educational video game design based on educational playability: a comprehensive and integrated literature review”* (Ibrahim *et al.*, 2012) e convertidas, pelo autor desta dissertação, em uma tabela que pode ser usada como uma lista de verificação (Anexo A). Ao total, Amer Ibrahim e seus colaboradores elencaram 75 diretrizes organizadas em 12 categorias diferentes: Objetivos do jogo, Equilíbrio entre objetivos de aprendizagem e diversão, Desafios do jogo, Feedback (resposta às atitudes do jogador), Interatividade, Adaptação, Controle, Ética, Realismo, Recompensas (bonificações extras não necessárias para o desenvolvimento do jogo), Estruturação e Conhecimentos do jogador. A análise realizada consistiu de uma avaliação simples a respeito de se a diretriz era ou não cumprida. Após todas as diretrizes terem sido avaliadas, verificou-se a porcentagem total de diretrizes cumpridas, e contou-se quantas categorias estavam totalmente cumpridas ou totalmente ausentes: segundo essa análise, “Uma ideia perigosa?” cumpria com 90,7% das 75 diretrizes estabelecidas para um jogo educacional, tendo 7 categorias completamente presentes dentre 12 e nenhuma completamente ausente.

A mesma análise foi aplicada a outros jogos que se propunham a trabalhar com a história da biologia, a fim de se realizar uma comparação entre o recurso produzido para esta pesquisa e os recursos já empregados em sala de aula hoje em dia; se a porcentagem de diretrizes cumpridas por “Uma ideia perigosa?” fosse próxima ou superior a de outros jogos, ele seria considerado um jogo válido para aplicação com intuito educacional.

Para se buscar por jogos que bordassem a história da biologia, utilizou-se a plataforma *Serious Games Classification*³⁷, que é constantemente atualizada com o registro de “jogos sérios”, isso é, jogos que se propõem a finalidades educacionais, e contempla jogos registrados tanto em francês quanto em inglês – todos os cadastros são bilíngues e, portanto, pode-se utilizar qualquer um dos dois idiomas para busca. Utilizando-se as palavras-chave “history” + [“science”, “biology” ou “health”],

³⁷ <http://serious.gameclassification.com/>

obteve-se como resultado 13 jogos encontrados dentre 3.177 jogos cadastrados no momento em que essa análise foi realizada. Após leitura do resumo do jogo, descartou-se dois jogos que não traziam temas relacionados à história da biologia. Os 11 jogos restantes foram testados a fim de verificar se apresentavam informações relativas à história da biologia e esse processo levou a um refinamento resultante de apenas 4 jogos que realmente continham informações históricas pertinentes: “*History of Biology*” (desenvolvido por SpongeLab, 2010), “*Playing History: the Plague*” (desenvolvido por Serious Interactive Games, 2010), “*Weird – The Truth is stranger than fiction*” (desenvolvido por McGraw Hill Home Interactive, 1996) e “*Who wants to live a Million Years*” (Swarm Interactive, 2013). Esses quatro jogos foram analisados segundo a matriz de diretrizes produzidas a partir do artigo de Ibrahim e colaboradores; a quantidade de diretrizes cumpridas e de categorias de diretrizes completas e incompletas é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de diretrizes para um jogo educativo cumpridas pelos jogos que retratam elementos de história da biologia

	Porcentagem de diretrizes cumpridas	Categorias completas	Categorias ausentes
History of Biology	56,0%	4 / 12	2 / 12 (Recompensas) (Desafios)
Playing History: The Plague	89,3%	7 / 12	0 / 12
Weird – The Truth is Stranger than Fiction	49,3%	2 / 12	1 / 12 (Recompensas)
Who Wants to Live a Million Years	80,0%	6 / 12	1 / 12 (Recompensas)
Uma Ideia Perigosa?	90,7%	7 / 12	0 / 12

Ao se notar que “Uma Idea Perigosa?” superava com segurança três dos jogos analisados e apresentava valores sobre o cumprimento de diretrizes levemente superiores ao jogo “*Playing History: The Plague*”, ele foi considerado como uma ferramenta válida para aplicação em sala de aula.

4ª intervenção – Coletando evidências

Duração: 90 minutos

Metas:

Conhecimentos históricos

- Reconhecer Darwin não só como um inovador em suas ideias, mas também como um bom experimentador.

Conhecimentos científicos

- Compreender processos de dispersão transoceânico de uma espécie;
- Identificar, em uma situação-problema, a ocorrência de competição entre espécies;
- Discutir a respeito de como se definir e identificar uma espécie.

Conhecimentos meta-científicos

- Compreender o que é robustez de uma teoria;
- Analisar como o conceito de robustez se aplica à ideia de um ancestral comum para todos os indivíduos de uma espécie.

Habilidades de investigação

- Analisar dados;
- Construir conclusões.

Dinâmica: O aluno seria apresentado, inicialmente, a três diferentes experimentos realizados por Darwin: seus testes com aves domesticadas, especialmente os pombos; suas investigações sobre a relação entre as características das flores e a atração de abelhas como agentes polinizadores; e os experimentos que buscavam investigar a competição entre plantas crescendo em um mesmo espaço natural. Na sequência, seria apresentado aos alunos mais um problema que Darwin investigara: a questão da origem comum das espécies e de sua dispersão pelo globo.

A proposta consistia em apresentar aos alunos a distribuição geográfica de plantas cujas espécies aparecem repetidas em continentes diferentes, muitas vezes com oceanos as separando, e seriam instigados a propor uma explicação para tal distribuição e um mecanismo para testar a explicação proposta. Conforme os alunos fossem avançando em suas discussões e ideias, eles seriam apresentados a cartas e artigos escritos por Charles Darwin entre 1837 e 1856, abordando a possibilidade de sementes sobreviverem à imersão em água salgada por longos períodos de tempo.

Esperava-se que, lendo traduções dos trabalhos originais de Darwin, os alunos se aproximassem mais do naturalista, observassem semelhanças entre seu próprio raciocínio e o de Darwin, e o percebessem como um observador e experimentador atento.

Validação: A quantidade de textos propostos para leitura chamou a atenção do grupo de pesquisa, que questionou a aplicabilidade da atividade dentro do espaço de tempo proposto. Outro grande questionamento realizado versou sobre a compatibilidade entre o tema da dispersão e origem única das espécies e o foco conceitual que se propunha para a sequência didática: o mecanismo de seleção natural.

Enxergando-se a real ausência de compatibilidade entre os temas, concordou-se em reelaborar as atividades, de maneira a discutir com os alunos, com maior atenção, os experimentos sobre domesticação e seleção artificial e os experimentos sobre competição entre plantas. Tal mudança auxiliou também para a redução da quantidade de textos que seriam disponibilizados aos alunos e, como consequência da remoção da discussão sobre dispersão de plantas, a meta para conhecimento científico “compreender processos de dispersão transoceânico de uma espécie” foi também removida do escopo dessa intervenção.

5ª intervenção – Quando parar de coletar evidências e publicar?

Duração: 90 minutos (30 min. de discussão conceitual + 15 min. de trabalho em grupos pequenos + 45 min. de trabalho em grupos maiores)

metas:

Conhecimentos históricos

- Associar o florescimento da ideia sobre descendência com modificação e seleção natural às viagens feitas por naturalistas que os permitia ver e comparar diversas espécies;
- Identificar o trabalho de Alfred Russel Wallace como algo natural dentro do contexto histórico;
- Reconhecer a importância de Alfred Wallace para a publicação do *Origem das Espécies*.

Conhecimentos científicos

- Associar o conceito de evolução à ideia de descendência com modificação e seleção natural.

Conhecimentos meta-científicos

- Discutir problemas vinculados ao processo científico (foco na época vitoriana) como prioridade para publicação, ética, colaboração e competição.

Habilidades de investigação

- Tomar decisões dentro um panorama de questões teóricas e procedimentais;
- Comparar modelos teóricos (Darwin X Wallace);
- Produzir conclusões.

Dinâmica: Essa aula caracterizaria o encerramento da sequência didática, iniciando-se com uma revisão do conteúdo trabalhado e encerrando-se com uma proposta de trabalho, que já serviria como uma avaliação. Após a breve revisão sobre o que os alunos viram até então, seriam discutidas com os alunos as divulgações informais que Darwin fez sobre suas ideias a parentes e amigos e os alunos seriam questionados se deveriam considerar os trabalhos de Darwin, em algum momento, como algo feito de maneira totalmente independente e isolada. Com essa questão, buscava-se investigar se os alunos interpretariam a ausência de publicações formais para a comunidade científica como uma justificativa para se dizer que Darwin trabalhara sozinho e, caso isso acontecesse, discutir-se-ia o papel das colaborações informais para o fazer científico e a natureza social do processo científico.

Estabelecido que Darwin atuara, sempre, dentro de um contexto coletivo, os alunos seriam apresentados aos acontecimentos de 1857 e 1858 que levariam, finalmente, à publicação do *Origem das Espécies*; iniciando-se com Charles Lyell

apresentando a Darwin o artigo *On the law which has regulated the introduction of new species*, de Wallace (1855) e instigando Darwin à publicação e concluindo-se em 1858, com Wallace escrevendo a Darwin, solicitando o encaminhamento do artigo “*On the tendency of varieties to diverge indefinitely from the original type*” a Lyell. Para que esses acontecimentos tenham um sentido mais claro e maior relevância para os alunos, eles seriam, então, brevemente apresentados à importância da prioridade nas publicações científicas, a fim de poderem compreender melhor o contexto estudado, bem como à ética vitoriana, que motivaram Wallace a escrever para Darwin – alguém de uma classe social mais elevada com quem já tinha contato – pedindo o encaminhamento do artigo a Lyell – também de classe social mais elevada, mas com quem ainda não tinha contato.

Com uma visão esclarecida sobre as pressões que levavam Darwin a publicar, os alunos seriam convidados a assumirem o lugar do pesquisador e discutir que princípios deveriam constar na publicação a ser feita; com a mediação do professor-pesquisador, os alunos seriam instigados a 1) apontar a presença de falas sobre a possibilidade de seleção artificial; 2) apontar a existência de variedade na natureza; 3) apontar a existência de luta pela sobrevivência; 4) indicar como essa luta, associada à variação, seria capaz de exercer uma pressão seletiva; e 5) explicar como a pressão seletiva modifica as espécies ao longo do tempo. Feita essa discussão, os alunos teriam a atenção chamada para o fato de que esses pontos realmente apareceram nos capítulos iniciais do *Origem das Espécies* e, com isso, espera-se que os alunos possam realizar uma auto-avaliação, vendo o quão próximo estariam seu próprio raciocínio e o de Darwin.

Tendo em vista que foram levantados 5 pontos conceituais básicos para as ideias de Darwin e que as salas teriam cerca de 30 alunos, o professor-pesquisador organizaria os alunos em 10 grupos de 3 alunos, atribuindo a cada grupo um dos pontos conceituais levantados, de maneira a ter-se em sala dois grupos trabalhando sobre cada conceito. Rapidamente, cada grupo deveria revisar seu material das aulas e rascunhar um parágrafo que descreveria o conceito que lhe fora atribuído, fornecendo um exemplo de uma situação em que se possa ver esse conceito na prática. Quando todos os grupos estivessem prontos, eles seriam reestruturados em novos grupos: cada novo grupo contaria com um integrante que tivesse trabalhado com cada um dos temas anteriormente propostos, de maneira a estruturar 6 grupos

com cinco alunos, sendo que a proposta dentro desse novo grupo seria a elaboração de um cartaz, em papel cartão, divulgando o que é a seleção natural. Para isso, os alunos deveriam pensar em como expor os textos dos pequenos parágrafos que produziram anteriormente, de maneira a apresentar uma ideia clara com um visual interessante, capaz de chamar a atenção do público. A dinâmica de estruturação e reestruturação de grupos é representada na figura 20.

Figura 20 – Dinâmica do trabalho em grupo.

Em um primeiro momento, os alunos são divididos em grupos de 3 integrantes (representados pelos círculos), cada grupo com um tema (representados pelas cores); em um segundo momento, esses grupos são desfeitos e reorganizados em novas formações, agora com cinco integrantes, sendo que cada membro havia trabalhado inicialmente com um tema diferente. Fonte: desenvolvido pelo autor.

Já se sabia que o sistema de notas na escola em que esta sequência didática seria aplicada reservava dois pontos de sua média para trabalhos individuais e em grupo, e os oito pontos restantes são destinados a notas obtidas em provas. Tais notas são obtidas diretamente nas avaliações, de maneira a serem simplesmente transpostas e somadas no boletim do aluno, sem necessidade de multiplicações ou divisões. Devido a esses fatores, decidiu-se que o cartaz produzido como fruto da segunda etapa do trabalho em grupo deveria, por si só, ser avaliado dentro dos dois pontos disponíveis para esse tipo de trabalho, sendo que um ponto seria concedido à parte conceitual e outro ponto à parte de apresentação visual – que deveria conter desenhos feitos pelos próprios alunos, ilustrando os conceitos apresentados na forma de texto.

Uma vez que a sequência didática seria aplicada em duas salas, optou-se por permitir que uma sala avaliasse o trabalho da outra. A nota atribuída pelos alunos, também organizadas em um ponto para a parte conceitual e um ponto para a parte visual, teria um peso de 40% da nota final, e a nota atribuída pelo professor-pesquisador teria um peso de 60%.

Validação: O grupo de pesquisa discutiu a possibilidade de os alunos, munidos de *tablet* com acesso à internet, apoiarem-se mais no conteúdo disponível na rede para a construção de seus trabalhos do que naquilo visto em aula, e foi levantada a preocupação com incompatibilidades que poderiam surgir entre os materiais de história da biologia disponíveis na internet, nem sempre produzidos por historiadores da ciência, e a narrativa histórica proposta. Diante de tais conflitos em potencial, foi acordado que, durante a confecção desse trabalho em particular, seria imposto um bloqueio ao uso livre da internet por meio dos *tablets* – bloqueio esse administrado pelo sistema de monitoramento remoto (MDM).

Outra sugestão foi a proposta de se substituir os cartazes por apresentações de slides, mas considerou-se que tal prática envolveria a necessidade de uma organização mais elaborada da dinâmica de aulas para que os alunos apresentassem seus slides uns aos outros, enquanto que, com os cartazes, bastaria transportar o material produzido de uma sala a outra, sem a necessidade de apresentações orais.

Por fim, indicou-se a necessidade de se prever ao menos uma aula a mais na sequência didática, reservada apenas para a exposição e avaliação dos cartazes, e isso foi incorporado ao cronograma planejado.

6ª Intervenção: pós-teste

Duração: 45 minutos

Metas:

- Captar informações sobre os conhecimentos produzidos pelos alunos como fruto da sequência didática em relação à maneira pela qual a ciência se desenvolve e se há predomínio de trabalho coletivo ou individual;
- Captar informações sobre conhecimentos produzidos pelos alunos como fruto da sequência didática em relação ao mecanismo pelo qual se dá a evolução biológica.

Dinâmica: duas questões a serem respondidas por extenso, sem limite de espaço para a resposta:

- **Questão 1:** O que o caso de Darwin e a seleção natural indica sobre o papel de indivíduos *versus* grupos na ciência?
- **Questão 2:** Observe as imagens abaixo (fig. 21).

As duas composições apresentam seres vivos de uma mesma região em épocas diferentes. A primeira imagem mostra a fauna norte-americana há cerca de 15 mil anos e a segunda imagem mostra a fauna atual. Explique quais foram os processos que levaram às mudanças percebidas

Figura 21 – Imagens apresentadas aos alunos na segunda questão do pós-teste.

Fonte: Composição criada pelo autor a partir de imagens retiradas de <www.imgur.com> e <<https://www.fm100.gr>>. Acesso em 10 fev. 2016

Validação: A primeira dessas questões foi elaborada com a ajuda de Douglas Allchin e encontra um paralelo no trabalho de Ami Friedman (2010). Os pesquisadores do Laboratório de História da Biologia e Ensino, no entanto, imaginaram que a maneira pela qual estava elaborada a primeira questão poderia apresentar dificuldades de interpretação para os alunos, mas, após discussões e tentativas de reelaboração, considerou-se difícil propor uma nova estrutura textual que não induzisse o aluno à resposta desejada. Considerou-se também que, uma vez que o pós-teste seria aplicado logo após uma aula que revisava toda a sequência, as dificuldades de interpretação poderiam ser minimizadas e, assim, decidiu-se manter a estrutura originalmente apresentada.

Não houve propostas de alterações para a segunda questão.

3.2 Primeira versão da sequência didática validada

Incorporando-se as recomendações dos membros do Laboratório de História da Biologia e Ensino, a sequência didática, na sua primeira versão para aplicação, assumiu o seguinte formato:

Objetivos gerais de aprendizagem:

Conceitual: explicar o que é e como funciona a seleção natural;

Meta-científicos: A partir do exemplo estudado com os trabalhos de Darwin, caracterizar a ciência como um empreendimento coletivo e como um processo complexo de produção de conhecimento, que requer empenho dos cientistas, em oposição a produção instantânea de caixas pretas.

Duração total: sete intervenções; total de 495 minutos, distribuídos em 11 aulas de 45 minutos (4 semanas).

Organização:

1ª Intervenção: Pré-teste

Duração planejada: 45min

2ª Intervenção: “Breve história da transmutação”

Duração planejada: 45 min.

- Imersão no século XVIII (foco nas Inglaterra e França) por meio de imagens, música e discussão de costumes;
- Trabalho em grupo para apresentação e discussão do pensamento culto sobre ideias fixistas/transformistas pautadas em quatro figuras históricas principais: John Ray, Georges Louis Leclerc – conde de Buffon, Georges Cuvier e William Paley.

- Leitura de material didático preparado especialmente com foco na faixa etária dos alunos;
- Discussões e atividades com foco em natureza da ciência que permitam maior apropriação do pensamento dos autores.

+

Duração planejada: 45 min.

- Apresentação de Jean-Baptiste Pierre Antoine Monet, chevalier de Lamarck;
 - Trabalho reflexivo, pautado em questões e exercícios, com foco em discutir a baixa aceitação das ideias do autor na França em sua própria época.
- Discussão do papel de Robert Grant como divulgador de Lamarck no Reino Unido;
- Apresentação de Erasmus Darwin, que formulou seu próprio sistema de transmutação, de quem Robert Grant também era fã;
- Apresentação de Charles Darwin como neto de Erasmus e aluno de Robert Grant e discussão sobre possíveis impactos do ambiente sociocultural da formação do jovem naturalista;
 - Discussão final a respeito da percepção dos alunos sobre a vida e a obra de Lamarck, e quais suas considerações a respeito de não o termos elencado como um dos pensadores de destaque do século XVIII em nossa primeira parte da intervenção.

3ª Intervenção: “Primeiras ideias de Darwin”

Duração planejada: 45 min.

- Aplicação do jogo virtual “Uma ideia perigosa?”, construído como instrumento pedagógico para esta sequência didática.

+

Duração planejada: 45 min.

- Trabalho em grupo para formalização de conceitos apresentados ao longo do jogo;
 - Discussão sobre o papel dos especialistas consultados por Darwin;
 - Diferenciação especialista x generalista.

- Discussão do papel da mulher da sociedade vitoriana pré-sufrágio universal;
- Discussão sobre ciência pública x privada;
- Discussão sobre o movimento de repressão de ideias associadas à transmutação ao final da década de 1830, início da década de 1840 e sobre a decisão de Darwin de coletar evidências para embasar suas ideias antes de qualquer divulgação;

4ª Intervenção: “Coletando evidências”

Duração planejada: 90 min.

- Trabalho em grupo para análise de dados divulgados por Darwin sobre seus experimentos em seleção artificial e seleção natural por meio de competição;
- Breve apresentação de outros experimentos desenvolvidos pelo naturalista;
 - Discussão e exercícios reflexivos sobre o papel da comunicação por meio de cartas com outros naturalistas e da comunicação direta com a população local.

5ª Intervenção: “Quando parar de coletar evidências e publicar?”

Duração planejada: 45min

- Retomada dos trabalhos de Darwin e apresentação de Alfred Russel Wallace por meio de seu artigo e carta sobre a modificação das espécies;
 - Discussão sobre se Darwin encaminhou seus trabalhos realmente sozinho até o ponto estudado;
 - Discussão sobre o estímulo de Charles Lyell para que Darwin publicasse suas ideias.

+

Duração planejada: 90 min

- Trabalho de síntese sobre a seleção natural;
 - Assumindo o papel de Darwin, os alunos deverão retomar os principais itens que fundamentam a seleção natural, expostos nos primeiros

capítulos do *Origem das Espécies*: seleção artificial, existência de variação intraespecífica, existência de luta pela sobrevivência, associação de variação na natureza com luta pela sobrevivência conduz à existência de pressões seletivas, e pressões seletivas agindo ao longo do tempo conduzem à modificação das espécies;

- Os alunos são organizados em grupos pequenos (até 3 alunos) e recebem um dos itens elencados. Cada grupo deverá redigir uma síntese curta sobre o item recebido;
- Os grupos da sala são remanejados, de maneira a se construir grupos maiores que contenham alunos que trabalharam com os diferentes itens fundamentais para o conceito de seleção natural. Nesses novos grupos, os alunos deverão produzir cartazes que divulguem e expliquem o que é seleção natural;
 - O cartaz produzido será o produto final da sequência didática e será avaliado para a produção de nota de trabalho em grupo;
 - 40% da nota será atribuída pela outra turma de alunos (9ºA avalia 9ºB e vice-versa), e 60% será atribuído pelo professor.

+

Duração planejada: 45min

- Exposição e avaliação dos cartazes;
 - O tempo de 45 min. é o tempo que os alunos têm para ler todos os cartazes da outra turma e avalia-los em seu aspecto estético e informativo.

6ª Intervenção: Pós-teste

Duração planejada: 45min

Os materiais utilizados nessa versão da sequência didática encontram-se em pasta compartilhada em nuvem (ver Anexo C), e eles incluem os slides apresentados aos alunos, um documento que pode ser consultado ao longo das aulas como guia do professor e os textos e exercícios para serem lidos e respondidos pelos alunos, bem como os arquivos com a versão do jogo “Uma ideia Perigosa?” aplicado aos alunos em 2016 – para abrir o arquivo com o jogo, é necessário ter o software

RPG Maker MV instalado no computador e abrir o arquivo “game.rpgproject”; a versão trial do *RPG Maker MV* pode ser obtida em <<http://www.rpgmakerweb.com/products/programs/rpg-maker-mv>>.

A tabela 3 apresenta maiores detalhes sobre as dinâmicas envolvidas na sequência didática, para as intervenções de 2 a 5 – isto é, excluindo-se o pré- e pós-teste –, e sinaliza as divisões planejadas entre os momentos interativos (I) ou não interativos (NI) envolvendo discurso de autoridade (A) ou dialógico (D) – de acordo com o referencial de Eduardo Mortimer e Phill Scott (2002). Também é apresentada a configuração de proximidade / distanciamento entre professor, alunos, mundo material e conhecimento científico, a partir da interpretação realizada do losango didático de Martine Méheut e Dimitris Psillos (2004):

Tabela 3 – Dinâmicas planejadas para a sequência didática “Descobrimos a Seleção Natural” e sua classificação segundo o tipo de discurso envolvido

“Breve história da transmutação” – Parte 1 (continua)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Formação de grupos	-	Professor e alunos próximos, trabalhando na formação dos grupos; ambos distantes tanto do conhecimento científico quanto do mundo material.
Introdução (slide 1 e 2)	NI / A ³⁸	Professor próximo do mundo material e do conhecimento científico; alunos mais distantes desse trio.
Verificação a respeito da compreensão dos alunos sobre o conceito de transmutação	I / A	Alunos aproximam-se do trio [professor]-[conhecimento científico]-[mundo material].
Imersão no contexto histórico (slides 3 a 6)	Alternância entre NI / A e I / A	Professor e alunos próximos do mundo material, mas distantes do conhecimento científico.
Leituras (slide 7)	I / D	Alunos próximos do conhecimento científico e do mundo material; professor distante desse trio.
Retomada do contexto, expondo a discussão sobre o	I / D	Professor e alunos estão próximos entre si e dos co-

³⁸ Significado das siglas adotadas para a tabela: **NI** – Não Interativo; **I** – Interativo; **A** – de Autoridade; **D** – Dialógico.

olho (slide 8); retomada dos conhecimentos dos alunos		nhcimentos científicos e do mundo material.
“Breve história da transmutação” – Parte 1 (continuação)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Alunos apresentam o que leram sobre John Ray e Buffon (Slides 9 a 11)	I / A	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; o professor ora se afasta, ora se aproxima desse trio.
Discussão sobre a utilidade dos gabinetes de história natural (Slide 12)	Alternância entre I / D e NI / D	Alunos permanecem próximos do mundo material e distantes do conhecimento científico. O professor ora se aproxima da dupla [aluno]-[mundo material], ora se aproxima do conhecimento científico e, nesse movimento, espera-se um encurtamento do eixo epistêmico, de maneira que os alunos estabeleçam uma conexão entre o mundo material, que já conhecem, e o conhecimento científico.
Exercício de comparação entre o esqueleto de um mamute e de um elefante (Slide 13)		Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor distante desse trio.
Explicação do pensamento de Buffon (Slides 14 e 15)	NI / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos mais distantes desse conjunto.
Discussão sobre o contraste entre ideias de Buffon e a concepção de duração da Terra vigente no século XVIII e que decisão tomar a respeito de divulgar ou não ideias que contrastam com a autoridade religiosa (Slide 16)	I / D	Professor e alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico (aqui, com mais ênfase na natureza e na história da ciência do que nos conceitos científicos).
Exposição e discussão do consenso a que Buffon chegou (Slides 17 e 18)	I / A	Professor e alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico (aqui, com mais ênfase na natureza e na história da ciência do que nos conceitos científicos).
Exposição do que os alunos leram sobre Cuvier e Paley (Slides 19 a 22)	I / A	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; o professor ora se afasta, ora se aproxima desse trio.

Retomada dos conceitos vistos em aula (Slide 23)	NI / A	Professor, alunos, conhecimento científico e mundo material próximos entre si.
“Breve história da transmutação” – Parte 1 (continuação)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Formalização pelos alunos (Slide 24)	I / D	O professor se afasta do trio [alunos]-[mundo material]-[conhecimento científico].
“Breve história da transmutação” – Parte 2 – “Lamarck” (continua)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Formação de grupos	-	Professor e alunos próximos, trabalhando na formação dos grupos; ambos distantes tanto do conhecimento científico quanto do mundo material.
Apresentação de Lamarck e início de seu trabalho científico (Slides 1 a 4)	NI / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos mais distantes desse trio.
Interpretação dos alunos a respeito da história ouvida (Slide 5)	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante desse trio.
Levantamento das respostas dos alunos (Slide 5)	I / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
Apresentação do trabalho de Lamarck com invertebrados (Slides 6 e 7)	NI / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos mais distantes desse trio.
Retomada do pensamento de Buffon e Cuvier; comparação com Lamarck (Slide 8)	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante desse trio.
Verificação do trabalho dos alunos (Slide 9)	I / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
Exposição de trechos originais de cada autor sobre a existência ou não de modificação nas espécies (Slides 10 a 12)	NI / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
Discussão sobre a interação entre Cuvier e Lamarck (Slide 13)	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante desse trio.
Discussão da posição toma-	Alternância entre I / A e	Professor, alunos, mundo

da por Cuvier frente às provocações de Lamarck (Slide 13)	I / D	material e conhecimento científico próximos entre si.
---	-------	---

“Breve história da transmutação” – Parte 2 – “Lamarck” (continuação)

ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSAN-GO DIDÁTICO
Ideias de Lamarck no Reino Unido e apresentação de Robert Grant (Slides 14 e 15)	NI / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos mais distantes desse trio.
Verificação da compreensão dos alunos a respeito da aula (Slide 16)	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; o professor ora se aproxima, ora se afasta desse trio, guiando os alunos quando necessário.

“Uma Ideia perigosa?” – jogo

ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSAN-GO DIDÁTICO
Interação dos alunos com o jogo	NI / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante desse trio.
Discussão sobre o que foi aprendido com o jogo	I / A	Professor, alunos, conhecimento científico e mundo material próximos entre si.

“Coletando evidências” (continua)

ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSAN-GO DIDÁTICO
Formação de grupos	-	Professor e alunos próximos, trabalhando na formação dos grupos; ambos distantes tanto do conhecimento científico quanto do mundo material.
Retomada do que Darwin havia estruturado a respeito da seleção natural (slides 1 e 2)	NI / A	Inicialmente, professor próximo do mundo material e do conhecimento científico, enquanto os alunos ficam mais distantes. Os alunos se aproximam do trio [professor]-[conhecimento científico]-[mundo material] conforme o professor relembra pontos que já foram estudados pelos alunos.
Apresentação dos estudos de Darwin com os pombos (slides 3 a 6)	I / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos se

		aproximam desse trio conforme interagem com o professor e comentam o que observam nos slides.
“Coletando evidências” (continuação)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Discussão das observações de Darwin sobre os pombos (Slide 7)	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais afastado desse trio.
Fechamento a respeito das ideias dos alunos (slide 7)	I / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
Apresentação dos experimentos de Darwin com grama (Slides 8 e 9)	NI / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos próximos do mundo material, com graus de proximidade diferentes, em função de sua própria experiência com observação do crescimento de grama.
Interpretação dos dados de Darwin (Slide 10)	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante.
Fechamento sobre as ideias dos alunos (Slide 10)	I / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
Apresentação de outros experimentos de Darwin (Slide 11)	NI / A	Professor próximo do mundo material e do conhecimento científico; alunos mais distantes.
Conclusão a respeito da relação entre seleção natural e modificação das espécies	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante.
Fechamento sobre as ideias dos alunos (Slide 12)	I / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
“Quando publicar” (continua)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Retomada do que foi estudado até agora (Slides 1 e 2)	NI / A	Professor, alunos, mundo material e conhecimento científico próximos entre si.
Apresentação das pessoas a quem Darwin divulgara seu trabalho (Aula 3)	NI / A	Professor próximo do mundo material e do conhecimento científico; alunos mais distantes desse trio.

Reflexão sobre se o fato de não ter publicado suas ideias justifica a fala comum de que Darwin trabalhara sozinho e isolado (Slide 4)	I / D	Professor e alunos próximos do mundo material, mas distantes do conhecimento científico.
“Quando publicar” (continuação)		
ATIVIDADE	ANÁLISE DO DISCURSO	INTERAÇÕES NO LOSANGO DIDÁTICO
Apresentação do estímulo de Lyell à divulgação, em consequência da leitura dos textos de Wallace (Slides 5 e 6)	NI / A	Professor próximo do conhecimento científico e do mundo material; alunos mais distantes desse trio.
Orientação ao trabalho, formação de trios e distribuição de temas para os grupos	-	Professor e alunos próximos do mundo material, mas distantes do conhecimento científico.
Elaboração de um texto que resuma e apresente exemplos a respeito do tema a ser trabalhado	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante.
Orientação sobre reorganização dos grupos	-	Professor e alunos próximos do mundo material, mas distantes do conhecimento científico.
Produção de cartaz que reúna as ideias elaboradas por cada membro do novo grupo a respeito do funcionamento da seleção natural	I / D	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante.
Avaliação dos cartazes da outra sala	NI / A ³⁹	Alunos próximos do mundo material e do conhecimento científico; professor mais distante.

Nesse planejamento da sequência didática, ressalta-se a alternância de dinâmicas discursivas e de dinâmicas de relacionamento entre os elementos que compõe o losango didático de Martine Méheut e Dimitris Psillos. Eduardo Mortimer e Phill Scott indicaram uma correlação entre alternância de dinâmicas discursivas e maior indício de aprendizagem por parte dos alunos (Mortimer e Scott, 2002, pp. 301-302) e, durante a preparação das dinâmicas de aula, tentou-se criar intencio-

³⁹ Apesar de se esperar que essa prática ocorra em silêncio, facilitando a leitura de todos, entende-se que a avaliação a ser produzida é fruto de uma dinâmica discursiva entre as ideias do próprio aluno e o que está lendo. Essa dinâmica não acontece entre dois colegas, de maneira que um possa ouvir ideias do outro e, portanto, ela é considerada não-interativa. Adicionalmente, o resultado dela será produzido pelo aluno avaliador que, tem, portanto, uma voz de autoridade sobre o que está lendo.

nalmente essa alternância de discursos. Apesar de Martine Méheut e Dimitris Psillos não terem discutido especificamente essa questão de alternância nas relações do losango didático quando apresentaram seu modelo (Méheut e Psillos, 2004), Martine Méheut enfatiza, em um trabalho posterior, que as diferentes conexões que compõem o losango podem ser exploradas durante a elaboração e análise de uma sequência didática (Méheut, 2005) e, portanto, a variação descrita também foi intencional, buscando-se obter uma aula menos estática e com maior potencial de aprendizagem para os alunos.

3.2.1 Aplicação da primeira versão da sequência didática

A aplicação dessa sequência didática se deu no segundo trimestre letivo de 2016, iniciando-se no dia 14 de abril de 2016. Durante o período de aplicação da sequência didática, as aulas foram interrompidas por feriados, revisões para provas, substituições de aulas para aplicação de provas, preparativos para as olimpíadas internas da escola e por questões de saúde do professor-pesquisador; todas essas questões, associadas a um prolongamento do tempo calculado para cada intervenção, culminou em um tempo total de 20 aulas para a sequência didática, com o pós-teste sendo aplicado no dia 16 de junho. Todo o processo foi acompanhado com duas câmeras portáteis que ora ficavam direcionadas a um grupo focal, ora direcionadas ao grupo-classe. Ao total, somam-se cerca de 30 horas de vídeo gravadas da aplicação da sequência didática para as duas turmas participantes da pesquisa e esses vídeos foram analisados, juntamente com o caderno de campo do professor-pesquisador e com as respostas dos alunos aos exercícios, a fim de se verificar a necessidade de refinamento na sequência didática. Episódios que mais chamaram a atenção por produzirem dinâmicas diferentes do que era esperado são apontados abaixo, seguidos de considerações a respeito da necessidade ou não de se incorporar mudanças à sequência didática:

Pré-teste: Durante o pré-teste, alguns alunos ficaram confusos a respeito da liberdade de poderem simplesmente dizer o que achavam a respeito das questões que lhes eram apresentadas. Isso lhes deixou, a princípio, um pouco inseguros, le-

vando-os a chamarem frequentemente o professor-pesquisador para verificar se entendiam o que estava sendo perguntando, especialmente a respeito da primeira questão: “É comum ouvirmos de maneira repetida o nome de alguns cientistas, vinculados a conceitos importantes da ciência: Darwin e evolução, Newton e as leis do universo, Einstein e a relatividade... Até que ponto a fama desses cientistas é fruto de sua genialidade, de seu trabalho duro (individual ou coletivo) ou de um balanço entre essas duas características?”. Após ouvirem que realmente poderiam fornecer qualquer resposta que tivessem em mente, e de terem sido esclarecidos a respeito do que a questão perguntava, os alunos passaram a responder o pré-teste com mais determinação e confiança. Durante o processo de orientação dos alunos, tomou-se cuidado para não induzir respostas.

“Breve história da transmutação – parte 1”: No início da segunda intervenção, cerca de 10 a 15 minutos foram utilizados para conversar com os alunos a respeito da metodologia utilizada naquela pesquisa, abordando-se a utilização de câmeras na sala e fornecendo maiores esclarecimentos a respeito da importância da liberação da utilização de som e imagem dos alunos, que deveria ser assinada por seus responsáveis. Durante os planejamentos para a sequência didática, esse tempo não havia sido calculado; em consequência disso, as dinâmicas planejadas não se encaixaram no período exato de uma ou duas horas-aula, como fora previsto. Também em função disso, cada aula se iniciou com uma breve retomada – cerca de cinco minutos – do que fora discutido anteriormente, a fim que os alunos pudessem dar continuidade ao raciocínio que estava sendo trabalhado; esses minutos adicionais também contribuíram para a extensão das aulas além do tempo de aplicação total previsto e atrasos adicionais foram produzidos em função de pedidos dos alunos para copiarem o conteúdo dos slides, e algumas vezes os alunos também pediram para que o professor-pesquisador formalizasse, na lousa, alguma observação que fora feita oralmente.

Apesar desses imprevistos, as dinâmicas planejadas para a sequência didática se desenvolveram com sucesso. Os alunos, de maneira geral, se engajaram na leitura e na síntese do que estava sendo lido e quando se apresentou aos alunos a questão a respeito da anatomia do olho, e sobre sua origem e o motivo para tantas partes funcionarem em conjunto de maneira aparentemente tão harmoniosa, rapidamente os alunos produziram a resposta esperada para tratar das reflexões de um

dos personagens históricos da sequência, “Por que Deus quis”, fornecendo a oportunidade de apresentar-lhes John Ray e seu trabalho *The wisdom of God* e dar sequência à aula como planejado.

Em alguns momentos, em que se imaginou uma dinâmica Não-Interativa e de Autoridade, com o professor próximo do conhecimento científico e do mundo material, e os alunos mais distantes, em um processo inicial de compreensão do que estaria sendo apresentado, o que se viu foi um esforço ativo dos alunos para se aproximar do trio [professor]-[conhecimento científico]-[mundo material], e aquele momento passou a ter uma dinâmica discursiva Interativa e Dialógica. Um desses momentos foi quando Buffon foi apresentado aos alunos:

CARLOS⁴⁰: “O José falou: ‘ser gordo naquela época era sinal de riqueza’?”

EVALDO: “Era.”

PROF.: “Ahn... Para muitos era... ahn... eu confesso que não sei se, na França, era tão assim.”

EVALDO: “Era. Era. Era, sim.”

CARLOS: “Se eu fosse esse cara, na hora de pedir para tirar foto...”

EVALDO: “Que foto?! Não era foto! É pintura!...”

CARLOS: “... na hora da pintura, eu ia pedir para o cara diminuir a minha barriga”

JOSÉ: “Só que você não ia ser um nobre rico.”

EVALDO: “Só que sem isso, você não era um nobre rico”

JOSÉ: “Você tinha que ser gordo. Olha só essa barriguinha dourada!”

Outro ponto bem-sucedido foi o engajamento dos alunos com os exercícios propostos. Por suas falas, é possível notar, por exemplo, que o exercício de comparação do esqueleto de um mamute com o de um elefante, como Buffon fizera, e lhes solicitar que decidissem a respeito de aqueles animais serem a mesma espécie ou espécies diferentes – novamente revivendo a experiência de Buffon – apresentou-lhes um desafio instigante:

⁴⁰ Os nomes dos alunos foram alterados, a fim de preservar sua privacidade.

CLÁUDIA: [para o professor]: “O mamute se transformou em elefante?”

CARLA: “Lógico!”

PROF.: “Isso está em processo de construção. É esta a ideia: você está no lugar do Buffon e você tem que escrever uma história; o que você escreve? Que decisão você toma e por quê?”

[Cláudia ri, empolgada com o desafio]

JOAQUIM: “Pra mim, o mamute...”

CARLA: “E o outro é o elefante.”

JOAQUIM: “Não, pra mim é um outro animal que se desenvolveu, tipo assim, do mamute.”

CARLA: “É um elefante.”

PROF.: “Mas e aí? A espécie A e a B são a mesma?”

JOAQUIM: “Eu acho que sim.”

CLÁUDIA: “Pra mim, não é.”

Imersos nesse processo de discussão, alguns alunos já começaram a aplicar o vocabulário que estava sendo aprendido, como exposto nesta fala:

ANTONIO: “A primeira espécie é a que veio antes. A segunda espécie é da mesma, só que transmutada. Ela já passou por modificações, por exemplo o rabo, esses dentes da tromb.... da.. esses dentes que eles têm já mudou... e...”

PROF.: “Beleza. Vamos discutir, então, na sala, essa ideia que você montou.”

A primeira hora/aula de aplicação dessa intervenção se encerrou com o final da discussão a respeito dos trabalhos de Buffon. Para retomar essa dinâmica, em uma aula que aconteceu dois dias depois, os alunos foram colocados novamente em grupo e foi solicitado que os grupos se dividissem na leitura a respeito de Georges Cuvier e William Paley, a fim de relembrem o que estava sendo discutido na aula anterior. Após essa retomada, prosseguiu-se com a apresentação de Cuvier, de maneira interativa e pautada em um discurso de autoridade, como previsto, mas, com uma das turmas, os alunos passaram a se dispersar durante a discussão, e a aula foi se encerrando de maneira não-interativa. A atenção dos alunos foi resgatada, no entanto, com o momento interativo e dialógico que envolvia a reflexão sobre a ques-

tão “Como podemos imaginar a concepção das pessoas letradas na Inglaterra e na França na passagem do século XVIII para o XIX, levando-se em conta que o conhecimento produzido em um país poderia viajar até o outro, no que diz respeito a transmutação/fixismo das espécies?”, apresentada ao final dessa intervenção.

A primeira parte de “Breve história da transmutação” se estendeu, com todos os atrasos envolvidos, por duas horas-aula, ou 90 minutos: o dobro do que fora planejado.

“Breve história da transmutação – parte 2 – Lamarck”: A fim de agilizar o início da aula, não houve orientação para formação de grupos, e os alunos permaneceram sentados em fileiras – organização tradicional da escola – até, aproximadamente, o meio da intervenção, quando deveriam comparar Lamarck a Buffon e Cuvier. Com exceção dessa inversão do que havia sido planejado, essa aula seguiu muito de perto a dinâmica planejada. Os alunos estavam particularmente concentrados na história que estava sendo narrada e isso gerou oportunidade para questionar a opinião dos alunos a respeito do que eles estavam ouvindo. Durante a exposição a respeito da carreira inicial de Lamarck, por exemplo, os alunos foram questionados a respeito de sua opinião sobre a idade em que Lamarck começou a desenvolver seus estudos de botânica: se seria comum ou incomum, cedo ou tarde, alguém com 32 anos iniciar publicações científicas. Outro exemplo foi o questionamento dos alunos a respeito da opinião deles sobre Lamarck ter sido deixado encarregado dos estudos de “vermes e insetos” quando o Jardim do Rei foi reestruturado no Museu Nacional de História Natural. Com essas inserções, períodos longos de discurso Não-Interativo e de Autoridade foram intercalados com discurso Interativo de Autoridade. A respeito das relações no losango didático, a interação com os alunos pôde estreitar o eixo pedagógico e permitir que os alunos se aproximassem mais do trio [professor]-[conhecimento científico]-[mundo material] – e, especialmente nesses casos, o conhecimento científico assumiu um caráter de conhecimento a respeito da natureza da ciência.

Ao se explicar a escala de progressão dos animais de Lamarck, especificamente quando se abordava a questão sobre a influência do uso e do desuso, os alunos foram convidados a pensar a respeito dos pés de um pato e dos olhos de uma toupeira. Muitos alunos, no entanto, não sabiam o que era uma toupeira e, por isso,

buscou-se rapidamente uma imagem para eles na internet, que foi projetada na lousa. A observação do animal e o debate sobre sua anatomia também promoveram um engajamento não esperado. Esses momentos de interação foram incorporados à segunda versão da sequência didática.

Ao longo dessa aula, percebe-se também um engajamento dos alunos para se situarem dentro do contexto histórico: um dos alunos, por exemplo, questiona se já poderia utilizar a palavra “evolução” para falar sobre a modificação das espécies proposta por Lamarck; outro aluno pergunta se Lamarck e Cuvier se conheceram; um terceiro, se eles criticavam as ideias um do outro. Considera-se que essas discussões são importantes tanto para deixar a história da ciência mais vívida para os alunos quanto pelos elementos de natureza da ciência que estão embutidos nesses episódios.

Algo que escapou aos planejamentos de maneira negativa foi a duração das atividades. A aula foi planejada de maneira que os alunos registrassem, no caderno, um resumo do que Buffon, Cuvier e Lamarck escreveram a respeito do mamute e do elefante, a fim de que eles pudessem consultar com facilidade exemplos de semelhanças e diferenças entre esses naturalistas. Isso tomou um tempo particularmente longo e, ao final da sequência didática, o que se observou foi que muitos alunos deixaram essa atividade incompleta em seus cadernos. Esse foi um ponto assinalado para revisão para a segunda versão da sequência didática.

O restante da aula seguiu com as dinâmicas de interação e modalidade discursiva planejadas e o tempo dessa intervenção foi cerca de 1h10; aproximadamente 1½ hora/aula.

“Uma ideia perigosa?”: Em 2016, o jogo foi distribuído aos alunos como um recurso online, sustentado por compartilhamento aberto disponibilizado, na época, pelo *Google Docs* – hoje um recurso desativado pelos desenvolvedores – de maneira que os alunos poderiam acessar a página com facilidade a partir de seus *tablets* e já iniciar o jogo. Em uma das turmas, poucos alunos tinham trazido *tablets*, e eles se dividiram em pequenos grupos, e alguns desses alunos preferiram utilizar seus celulares para jogar. Na outra turma, os alunos tiveram menos problemas em relação à utilização dos equipamentos, e uma maior parte dos alunos conseguiu acessar o recurso virtual.

Durante a aplicação do jogo, alguns alunos, que necessitavam realizar a prova de recuperação para o trimestre anterior, solicitaram uma revisão em sala de aula e se comprometeram a jogar em casa; a fim de que se pudesse avaliar o comprometimento dos alunos com essa promessa, e verificar se os recursos e informações do jogo foram realmente explorados, como lição de casa os alunos deveriam submeter, via recurso de sala de aula virtual adotado pela escola, uma foto sua segurando o *tablet* na tela final do jogo, mostrando a experiência adquirida – a experiência é adquirida por meio do cumprimento de objetivos, conversas com os personagens controlados pelo computador e leituras de livros e placas espalhados pelo ambiente virtual do jogo, sendo portanto, um indicativo de quanto o aluno leu e explorou esse ambiente. A fim de que toda a sala se comprometesse com uma exploração profunda do jogo, foi-lhes passado um desafio adicional: se as fotos enviadas por toda a sala somassem uma quantidade mínima de experiência equivalente ao obtido por cada aluno pelo cumprimento das missões obrigatórias e mais a leitura de metade dos livros e placas do jogo, a sala toda ganharia meio ponto a mais em sua nota de ciências.

De maneira surpreendente, o desafio levou os alunos a uma exploração dos recursos de jogo além do imaginado, levando alguns alunos a encontrarem problemas na programação – *bugs* – e compartilharem seus achados com o professor-pesquisador. Esses *bugs* foram corrigidos para a aplicação da segunda versão da sequência didática.

Além do entusiasmo dos alunos pela pontuação extra, eles ficaram cativados pelos gráficos do jogo, que lembravam o jogo *Pokémon* (©Nintendo, 1996-2017) (ver fig. 22), como ilustrado nas falas abaixo:

MANOEL: “Nossa, Edu!”

Vários alunos: “Pokémon!”

PAOLA: “Ai, que legal!”

MANOEL: “Quem fez o design foi você também?!”

CARLOS: “Nossa, parece Pokémon!”

ANTONIO: “Parece o Pokémon de DS!”

ALBERTO: “De GameBoy!”

CARLOS: “Que nostalgia!”

Muitos alunos questionaram também o processo de desenvolvimento de jogo e, na aula seguinte, muitos relataram ter realizado o *download* da *engine* RPG Maker. Dado esse interesse dos alunos, para a segunda versão da sequência didática, planejou-se a distribuição dos arquivos originais do jogo, a fim de que os alunos que desejassem pudessem também aprender enquanto testavam modificações na estrutura de jogo após tê-lo jogado – uma dinâmica que se converte também em um dos princípios da proposta de educação aberta (Hilton III *et al.*, 2010).

Enquanto jogavam, os alunos conversavam entre si, mostrando engajamento e animação com a atividade:

Figura 22 – Uma das telas de “Uma Ideia Perigosa?”.

Syms Covington, controlado pelo aluno-jogador, visita o jardim zoológico e vê Jenny, a orangotango. Os alunos reconheceram os gráficos como similares ao jogo *Pokémon* (©Nintendo 1996-2017), comumente jogado por eles. Fonte: produzido pelo autor.

TOMAS: “Aêêê, tô no nível 3! [Para João] Olha só o meu progresso.”

JOÃO [Para Tomas]: “Oh, olha onde eu entrei!”

TOMAS: “Que louco!”

JOÃO: “Tem uns 15 Darwins aqui! Ah, é o Erasmus!”

[...]

CLÓVIS: “Nossa, olha lá!”

[...]

MARINA: “É muito legal isso aqui!”

[...]

JOÃO: “É o Babbage esse daqui?... Olha, o Babagge não acreditava em Deus, né?!”

[...]

TOMAS: “Como é que ganha libra? Eu dei toda a minha libra para um mendigo que eu encontrei!”

MARINA: “Tem um mendigo?”

JOÃO: “Tem, tem um mendigo ali e você consegue dar dinheiro pra ele.”

MARINA: “Nossa, que chave! [gíria para dizer que algo é bacana/divertido]”

Esperava-se que esse momento fosse algo não interativo (cada aluno focado em seu *tablet*), mas dialógico devido às discussões apresentadas pela ferramenta virtual. Na realidade, o momento de jogo foi bastante interativo entre os alunos, que trabalharam também o discurso dialógico de maneira além do esperado, discutindo navegação espacial do jogo, interpretações do que estavam vendo e conquistas que descobriam.

Outro comportamento suscitado pelo jogo, quando ele foi apresentado aos alunos, foi uma dúvida em relação à sua utilização como ferramenta de aprendizagem, como evidenciado nas falas destas duas alunas:

CLÁUDIA: “Edu, qual é o objetivo do jogo?”

PROF.: “Vocês descobrirão a história de formulação da teoria do Darwin; como que ele formulou a teoria dele... Ajudando ele nesse processo.”

SOFIA: “Tá. Tá bom...”

MARIANA: “Mas, tipo, tem que fazer o quê?”

PROF.: “Jogar.”

MARIANA: “Só?”

PROF.: “Só.”

MARIANA: “Não tem que fazer nada além do jogo?”

PROF.: “Tem que ler... ah... os diálogos.”

Apesar dessa desconfiança, os alunos se envolveram com a proposta e muitos enviaram suas fotos apresentando o jogo completo e a experiência acumulada. Uma das salas conseguiu bater a meta de experiência proposta, mas a outra não – alguns alunos realmente deixaram de jogar e outros que jogaram não quiseram enviar a foto.

Na aula seguinte, a discussão do jogo havia sido planejada como uma exposição interativa, mas apenas pautada em um discurso de autoridade, que poderia dificultar uma percepção a respeito do que os alunos aprenderam com o jogo. Com o desejo, então de tornar a experiência mais dialógica e verificar se os alunos percebiam Darwin como um cientista, foi requisitado que eles desenhasssem um cientista em uma folha de caderno e, depois, esse desenho foi comparado com o Darwin visto no jogo. Esse episódio conduziu a uma discussão a respeito de que características uma pessoa precisa desenvolver para se tornar um cientista – algo importante para a conquista do objetivo meta-científico da sequência didática: que os alunos descrevam o trabalho de um cientista como um empreendimento coletivo. Abaixo estão as falas transcritas da dinâmica ocorrida em umas das salas de aula, que denotam uma reflexão ativa a respeito da natureza da ciência envolvida no episódio em questão:

PROF.: “Pra começar, pelo que vocês viram, pela experiência de vocês, quem foi o Darwin? Como que vocês podem me descrever ele?”

EVALDO: “Ele era...”

ALBERTO: “Ele fazia experiências.”

EVALDO: “Ele era... Ele era um cara de uma família rica...”

PROF.: “Rica...”

EVALDO: “... Estudou em uma faculdade boa, teve um professor que era interessado...”

PROF.: “Mas isso é um pouco do que a gente viu na aula, mas e o jogo? O que ele mostra pra vocês?”

EVALDO: “Mostra quando ele acabou de voltar das Ilhas Galápagos, ele fica na casa do irmão dele, com aquele Syms...”

PROF.: “Beleza...”

PAULO: “E tem pássaros no armário dele.”

EVALDO: “E tem pássaros no baú.”

PAULO: “No baú!”

PROF.: “Ok, mas isso é do próprio Syms Covington, né? Mas, como você pode descrever... eh...”

EVALDO: “Ele era um pesquisador.”

PROF.: “Um pesquisador, Ok. O que mais?”

PAULO: “Misterioso.”

CLÓVIS: “Tinha medo de que a igreja não confiasse nele.”

PROF. [anotando na lousa]: “Pesquisador, beleza!”

EVALDO: “Ele contrariava... ele era corajoso, assim...”

PROF.: “Eh... Ele tinha receio, né, das críticas...”

CLÓVIS: “Sim... E também tinha pensado... de um cara que...”

PROF. [anotando na lousa]: “Tinha medo das críticas... que mais?”

CLÁUDIA: “Eh... vai cair isso? Vai? O que Darwin fez?”

[Aqui há uma interrupção, no raciocínio, com Marina explicando que não conseguiu jogar todo o jogo. Depois o raciocínio é retomado por Clóvis].

CLÓVIS: “Num momento, Darwin e o garoto foram pra... pra uma... apresentação de uma invenção de um cara.”

PROF.: “Isso!”

CLÓVIS: “Que havia inventado um motor novo pra... pra não sei...”

PROF.: “Isso, eles fizeram isso, mas o que que tinha de informação que chamou a atenção do Darwin?”

[Alunos conversam entre si, mas não respondem à pergunta]

PROF.: “Ok, então vamos pensar mais um pouco... Galera, olha aí... Aurélio!... Ei, pssss... Dizer que Darwin foi um pesquisador é o mesmo que dizer que ele foi um cientista? São sinônimos?”

RICARDO: “Mais ou menos...”

CLÁUDIA: “Ele foi um cientista?”

PROF.: “É isso que eu estou perguntando. É a mesma coisa ou é diferente?”

CLÁUDIA: “É diferente.”

ROBERTO: “Um cientista é um pesquisador, mas um pesquisador não é um cientista.”

MARINA: “Eu acho que um pesquisador ajuda um cientista.”

PROF.: “Pra efeitos práticos... [a sala está agitada com a discussão] Galera!... Pra efeitos práticos, galera, muitas vezes é a mesma coisa, ok?”

MARINA: “Então um cientista é um pesquisador?”

PROF.: “Um cientista faz... um pesquisador é quem faz pesquisa, e o cientista faz suas pesquisas também. Ok? Então a gente pode dizer que esse pesquisador, ele vai ser um... um cientista também... ah... O pesquisador pode fazer pesquisa em muitas áreas, não só no que a gente chama tradicionalmente de ciência. Então por isso, talvez, uma parte do que vocês falaram faz muito sentido: ‘todo cientista é um pesquisador, mas nem todo pesquisador vai ser um cientista’. Mas, pro Darwin, sim, a gente pode dizer que ele é as duas coisas”

CLÁUDIA: “Edu, Edu... Posso ir no armário pegar meu caderno?”

PROF.: “Pode, sim... Então esse pesquisador aqui [referindo-se à anotação na lousa de Darwin como pesquisador], ele é um cientista também. Agora, galera, esse Darwin, cientista, que vocês viram no jogo, ele se parece com o que vocês desenharam aqui e descreveram?”

Vários alunos: “Não.”

PROF.: “Qual que é a diferença?”

EVALDO: “Eu não fiz desse... Eu não fiz um biólogo... Eu não fiz um biólogo, eu fiz um cientista... Eu fiz mais, tipo, um astrônomo.”

PROF.: “Beleza. Bom, tem a diferença das áreas... O que mais tem de diferente?”

EVALDO: “O estilo.”

PROF.: “O estilo! O que tem de diferente nesse estilo?”

EVALDO: “Ele é velho.”

PROF.: “Geralmente, o cientista que a gente imagina é velho...”

EVALDO: “Cabelão... Einstein...”

PROF.: “Cabelo...”

RAUL: “É o que eu desenhei... É o que eu desenhei”

EVALDO: “Eu também, o que eu desenhei é o Einstein”

[Outros alunos comentam sobre seus desenhos]

PROF.: “Agora, galera, a gente tem essa imagem, às vezes, do Einstein, às vezes de alguma coisa que a gente vê na internet ou que apareceu na televisão... Vocês acham que a maioria dos cientistas vai ser mais parecido com esse que vocês desenharam...”

RAUL: “Não!”

PROF.: “Ou com o Darwin...”

EVALDO: “O Darwin!”

[Falas diversas descrevendo um cientista. Elas se embaralham, tornando a descrição difícil, mas a maioria dos alunos está dizendo que o cientista real é menos estereotipado que seu desenho. Ao final do burburinho, Evaldo sintetiza isso em sua fala]:

EVALDO: “O Átila, por exemplo. [Referindo-se ao biólogo que apresenta o canal *Nerdologia* no *YouTube*]

[Raul acrescenta que ele imagina todos os cientistas carecas.]

RAUL: “Pra mim todo cientista tem que ser careca, tipo o Heisenberg. [Personagem do seriado *Braking Bad*]

PROF.: Ok, é essa a imagem, mas isso significa que todos os cientistas se parecem?

EVALDO: “É, químico, principalmente! Já pensou se ele põe fogo no cabelo?”

NARCISO: “Se der algo errado, eles vão ficar fritos!”

[Burburinho sobre o assunto]

PROF.: “Galera... olha aí, olha aí... uma coisa... olha aí... psss... além do Darwin, a gente tem outras figuras no jogo...”

RAUL: “Heisenberg!”

PROF.: “... não... do joguinho, do joguinho...”

RAUL: “Ah, tá.”

[Alunos continuam falando sobre o Heisenberg do seriado]

PROF.: “Galera, olha aí.... psss... a gente vê o Henslow, que era professor do Darwin, a gente vê o Charles Lyell, a gente vê o Charles Babbage, que, apesar de não ser um pesquisador, é um inventor, então também é

próximo ali... eh... vocês têm o próprio John Gould, para quem foram entregar, lá, os pássaros...”

EVALDO: “É...”

PROF.: “Todos são cientistas. E, no desenhinho, com o que eles se parecem? Quando você olha na fotinho deles...”

EVALDO: “Parece um mangá! [Quadrinhos de origem japonesa]”

PROF.: “É, parece um mangazinho, mas, no jogo, ok? Muitas vezes um cientista, ele é uma figura normal.

EVALDO: “Ele era um cara normal, mas eles eram mais legais, assim, a aparência deles. Eles pareciam ser mais charmosos. Com mais pompa e elegância. Eu não vi nenhum pé-rapado.”

PROF.: “Isso sim... Isso sim... Principalmente porque naquela época, quem fazia ciência...”

EVALDO: “Era rico!”

PROF.: “Era um pessoal mais nobre...”

RAUL: “De dinheiro...”

PROF.: “Ou de dinheiro, ou intelectualmente também, ok? Mas tinha cientista que era pobre de dinheiro, mas tinha seu intelectual desenvolvido, Ok?”

RAUL: “O Heisenberg! [o personagem do seriado passa por dificuldades financeiras]”

PROF.: “Galera, um cientista... antes de tudo... é uma pessoa... galera... psss... Eventualmente... Olha aí... Eventualmente, vão acontecer coisas que ajudam a gente a formar essa imagem que vocês desenharam”

[Burburinho]

PROF.: “Seguinte: muitas vezes o cientista vai ficar mais famoso quando ele vai envelhecendo, conforme vai trabalhando”

EVALDO: “Aí ele ganha renome; vai fazendo a carreira.”

PROF.: “Aí ele vai ganhando renome, só que ele envelhece e o cabelo vai caindo, ficando careca... eh... então ele vai ficando com essa imagem característica, ok? Mas a gente tá vendo aqui um Darwin jovem, certo? E um cientista, ele começa a carreira dele desde jovem, ok? Anh... Pelo que vocês viram do Darwin, vocês podiam dizer que ele era um gênio?”

RAUL: “O Einstein?”

PROF.: “O Darwin do jogo.”

BIANCA: “Não.”

RAUL: “Ah, tá. Não.”

EVALDO: “Não. Naquele jogo, a gente não é ele; a gente só vê ele falando: ah, pega os pássaros, faça isso, faça aquilo...”

PROF.: Mas o que você aprende com ele? Ele tem essa imagem de gênio?”

BIANCA: “Não.”

EVALDO: “Não, ele parece uma pessoa normal...”

RAUL: “Ele parece um mandão.”

EVALDO: “É, ele parece uma pessoa normal, que fala bonito, mas só quer te mandar. É tipo ‘Faça o favor de ir ali, tananã...’”

[Burburinho de alunos concordando]

MARINA: “Eu acho que ele é um ignorante.”

PROF.: “A maioria dos cientistas não é gênio! Lógico que tem aqueles que têm um intelectual diferenciado, que tem uma pré-disposição e facilidade para as coisas, mas a gente tem que ver aquilo que o Clóvis falou: ‘É alguém que tem muita informação, porque faz pesquisa’. Ter a informação e as ideias vem do trabalho que ele realiza.”

Em uma análise posterior, observando mais calmamente os desenhos que os alunos fizeram como provocação para essa discussão, percebeu-se que muitos alunos dessa turma se desenharam como cientistas, e alguns desenharam figuras características da ciência: ou tentando representar Einstein ou uma figura estereotipada genérica. Na outra turma, por distração do professor-pesquisador, a aula foi iniciada com a discussão do que os alunos tinham observado no jogo, com as impressões deles, e discutindo a obtenção de experiência somada de toda a turma. Apenas após essa conversa inicial é que se pediu que os alunos desenhassem um cientista e o que se observou é que muitos desenharam Darwin – provavelmente viesados pela conversa inicial –, mas um Darwin velho, caricato, que ainda pôde ser comparado ao Darwin jovem, mostrado no jogo, e também suscitou a discussão sobre quem é um cientista, e se qualquer pessoa poderia ser um cientista.

Essa discussão sobre a natureza da ciência foi considerada um elemento importante da sequência didática por se mostrar explícita, reflexiva e inserida dentro de um contexto, alinhando-se com trabalhos tradicionais a respeito do ensino e aprendizagem de natureza da ciência (por exemplo, Akerson, Abd-El-Khalick e Lederman, 2000; Buck *et al.*, 2014; Rudge e Howe, 2009), contudo, o viés observado na segunda turma – em que os alunos, predominantemente, retrataram Darwin – nos motivou a repensar esse momento de desenho como uma introdução à sequência didática, logo depois do pré-teste. No momento de discussão pós-jogo, esses desenhos seriam retomados e a imagem retratada neles seria comparada à imagem vista de Darwin e seus contemporâneos nos anos 1837-1839. Essas propostas de mudança foram aplicadas na segunda versão da sequência didática.

Além dessa atividade com desenhos, essa aula envolveu também uma discussão e formalização escrita – a pedido dos alunos – sobre os conceitos trabalhados no jogo: o papel da existência de variação intraespecífica; a visão da natureza como algo hostil, marcada por lutas e competições; e a ideia de que esses aspectos possam ser aplicados a todas as espécies, como uma regra – ou “lei”, no jargão da época – da natureza. Ao final da aula, também se discutiu a pergunta que dá nome ao jogo: a ideia de Darwin poderia ser considerada “perigosa” para a época? Os alunos consideraram que a resposta seria positiva, considerando-se as críticas de fundo religioso observadas nas falas do jogo.

Durante essa discussão e formalização, os alunos apresentaram suas dúvidas e interpretações, mas a atividade foi predominantemente interativa de autoridade, como exposto no planejamento. Em termos de duração, essa atividade se estendeu por cerca de 55 minutos; 10 a mais do que fora planejado.

“Coletando Evidências”: Com o auxílio dos slides preparados, expondo imagens e perguntas para os alunos discutirem (conferir no CD em anexo), essa aula seguiu a estrutura planejada com bastante fidelidade. Algo que se considerou modificar para a segunda versão da sequência didática, no entanto, foi a dinâmica de resolução dos exercícios: nesta primeira versão da sequência didática, os alunos foram orientados a registrarem suas respostas no caderno, com o grande intuito de que o registro se transformasse em uma ferramenta de estudos. Essa justificativa para o registro, no entanto, deu aos alunos liberdade para organizarem seu registro da maneira que eles melhor avaliassem como uma ferramenta de consulta: alguns

Figura 23 – Respostas dos alunos.

Exemplos de diferentes graus de complexidade obtidos em respostas para a pergunta “Pode-se dizer que, para a produção e manutenção das raças de pombos domésticos, existe algum tipo de seleção atuando?”. A primeira resposta é sucinta e visa apenas o objetivo final dos criadores; a segunda resposta apresenta o cuidado de se copiar a pergunta e aborda detalhes que manifestam indícios da seleção exercida pelos criadores de pombos domésticos e também por Darwin. Fonte: produzido pelo autor.

escreveram respostas completas; outros registraram breves frases; outros, por não estarem acostumados a utilizar os cadernos para estudar, não registraram nada (ver fig. 23). Para assegurar um maior grau de comprometimento com o registro na segunda versão da sequência didática, optou-se por distribuir as questões em folhas avulsas, que deveriam ser entregues ao professor no final da aula com o nome dos componentes do grupo.

Algo que teve um destaque positivo durante essa intervenção foi a manifestação e discussão ativa da compreensão que os alunos vinham desenvolvendo a respeito dos trabalhos de Darwin. Durante essa aula, os alunos tiveram oportunidade de manifestar suas dúvidas e os pensamentos que estavam desenvolvendo e o que se percebeu foi que era muito comum que os alunos resgassem concepções pré-

vias e associassem ao que estavam aprendendo a respeito do desenvolvimento das ideias de Darwin. Eis alguns exemplos dessas falas:

[O professor apresenta aos alunos a pergunta “Pode-se dizer que, para a produção e manutenção das raças de pombos domésticos, existe algum tipo de seleção atuando?” e depois anda pela sala conferindo o desenvolvimento dos grupos de alunos]

Prof.: “E aí, o que você acha?”

Rosa: “Eu acho que sim, por que aí ele deixava os pombos mais competentes para as competições que eram realizadas naquela época e, para isso, eles mudavam a genética dos animais.”

Prof.: “‘Genética’ a gente não vai falar ainda, porque eles não têm essa noção, ok? Mas eles tinham... eles tinham essa preocupação de deixar o pombo mais competente para a competição... mais preparados...”

[...]

[Mais adiante na dinâmica de aula, os alunos tiveram a oportunidade de analisar o experimento que Darwin realizou com o crescimento livre de grama em seu jardim]

Prof.: “Gente, olha aí... psss... Por que as espécies morreram?”

Rosa: “Porque elas eram mais fracas.”

Prof.: “Eh... Vamos... psss... Galera!... Olha aí... Eu não quero que a gente crie uma impressão errada de que o mais forte de tamanho, de força física, é o que sobrevive.”

Joaquim: “Não é o que se adapta?”

Prof.: “Também não é o que se adapta, porque ‘se adaptar’ dá a impressão de que o organismo está se modificando ali no momento.”

Joaquim: “Mas, então, quem sobrevive é...?”

Prof.: “É o que já nasce apto.”

Joaquim: “Já nasce apto?”

Prof.: “Isso.”

Joaquim: “A espécie?”

Prof.: “A espécie ou, dentro da espécie, o indivíduo.”

Joaquim: “Ah, tá...”

Prof.: “Porque, na mesma espécie, vai ter pequenas variaçõezinhas; e algum já nasceu apto para aquele ambiente.”

Joaquim: “Tá.”

Prof.: “Ok? Pode ser...”

Joaquim: “Mas os antepassados de antes também?”

Prof.: Não... Então... Sempre, na prole, têm pequenas variações. Esse é o grande ponto de Darwin. E aí, nessas pequenas variações, um já está um pouquinho mais apto que o outro.”

Joaquim: “Um pouquinho... ah, entendi!”

Prof.: “E aí aquele já sobreviveu. Aí teve uma prole com variação. Nasceu um, um pouquinho mais apto. Sobreviveu. Nesse pouquinho em pouquinho, de geração, aí que se modifica...”

Joaquim: “Então eles vão sempre se desenvolvendo?”

Prof.: “... Ao longo do tempo é que se tem a mudança, que é essa variação muito, muito sutil de uma geração pra outra.”

Joaquim: “Não, já tá claro, já.”

Prof.: “E aí esse ‘apto’ pode ser o que se esconde melhor, o que é mais es-pertinho...”

Após essa conversa, os alunos passaram a incorporar com mais facilidade a morte do indivíduo ou a extinção de uma espécie como um dos efeitos da seleção natural. Com essa dinâmica, julgamos que essa intervenção seja fundamental dentro da sequência didática, pois, sem ela, os alunos não teriam a chance de analisar os conflitos entre suas concepções prévias e o conhecimento acadêmico com que estavam trabalhando e, sem isso, não conseguiriam realizar um movimento de mudança de seu perfil conceitual. Toda essa dinâmica pôde ser aplicada em apenas uma hora/aula – metade do tempo previsto.

“Quando Publicar?”: A contextualização dessa intervenção, abordando-se os papéis de Wallace e de Lyell na publicação do *Origem das Espécies* foi bastante rápida e, dessa maneira, já se deu início à primeira etapa do trabalho em grupo, com os alunos em grupos de 3 integrantes, e cada grupo escrevendo sobre um dos diferentes conceitos envolvidos no processo de seleção natural – 1) seleção artificial, 2)

existência de variação intraespecífica, 3) existência de luta pela sobrevivência, 4) associação de variação na natureza com luta pela sobrevivência conduz à existência de pressões seletivas, e 5) pressões seletivas agindo ao longo do tempo conduzem à modificação das espécies. Como planejado, essa atividade se estendeu até o final de uma hora/aula.

Nesse momento, quando os alunos estavam organizados em trios, alguns alunos preferiram buscar informações na internet em vez de consultarem seus cadernos, por julgarem-nos incompletos. Por um lado, isso revela que o aluno tinha consciência a respeito de suas dúvidas, mas, por outro lado, isso indica que a sequência didática não fora efetiva, até aquele momento, para que aquele(a) aluno(a) compreendesse e soubesse escrever a respeito do ponto que lhe fora atribuído. Para planejar a segunda versão da sequência didática, como ocorrera com a intervenção anterior, considerou-se que, se todas as atividades da sequência didática fossem passadas em folhas avulsas, a fim de serem entregues ao professor, os alunos iriam se comprometer mais com essas atividades e pensariam mais profundamente a respeito de como formalizar seus pensamentos.

Quando os alunos tentavam buscar informações na internet, foram informados de que, a fim de evitar confusões com informações falsas ou incompletas que pudessem ser encontradas, o professor-pesquisador limitaria a conectividade dos *tablets* dos alunos e eles poderiam acessar apenas o ambiente virtual em que os materiais de aula estavam disponíveis. Isso foi bem aceito pela maioria dos alunos, mas houve aqueles que preferiram utilizar seu próprio celular a fim de ter acesso livre à internet. Muitas vezes esses alunos ficaram confusos com as informações que encontraram, pois elas costumavam trazer uma perspectiva que já abordava conceitos de genética, ou traziam conceitos errados, imbuídos de teleologia – como falar que “a espécie se adapta ao ambiente”, como se isso fosse uma garantia – e os alunos questionavam se essas informações estavam corretas. Na maioria dos casos, mesmo esses alunos se resignaram a retomar apenas os materiais didáticos utilizados durante a sequência didática.

Na aula seguinte, deu-se início à construção dos cartazes e alguns grupos perceberam erros nos registros que seus colegas traziam, o que possibilitou um momento de discussão e aprendizagem dentro do grupo. Ainda nesse momento, outros grupos tinham alunos que não haviam anotado a explicação para o ponto da teoria de Darwin analisada quando estavam em trios; alguns alunos voltaram para

junto de seus colegas de trio e retomaram as notas produzidas, mas outros preferiram elaborar as explicações naquele momento, junto ao novo grupo.

Outro comportamento dos alunos que chamou a atenção foi que, durante a elaboração do cartaz, alguns alunos tiveram dificuldades de enxergar uma relação entre seleção artificial e seleção natural, ou acharam esse argumento fraco e ficaram inseguros. Em outro momento, alguns desses mesmos alunos e mais alguns outros também tiveram dificuldade de fornecer explicações que se limitassem a abordar a luta pela sobrevivência ou a existência de variação na natureza sem falar sobre a seleção natural. Por um lado, isso pode ser um indicativo de que esses elementos estavam solidamente conectados na mente do aluno, mas, por outro lado, isso revelou uma dificuldade do(a) aluno(a) em compreender como a variação intraespecífica e a luta pela sobrevivência podem ser vistos como fatos da natureza. Os mesmos alunos que tiveram essa dúvida também tiveram dificuldade de diferenciar a existência de pressão seletiva do processo de modificação das espécies por meio de seleção natural, ficando com a impressão de que estavam escrevendo quatro vezes a mesma informação.

Alguns alunos, por sua vez, compreenderam a existência de variação intraespecífica e a existência de luta pela sobrevivência como fatos da natureza, que podem ser enxergados de maneira independente da seleção natural, mas tiveram a mesma dificuldade de compreender a diferença entre a existência de pressão seletiva e o processo de modificação de uma espécie; ou, mesmo que entendessem que existe uma diferença conceitual, tinham dificuldade de escrever sobre esses assuntos de maneira independente.

As dificuldades conceituais, associadas a uma preocupação com a estética do cartaz que produziam, levou os alunos a se prolongarem na elaboração desse material por 5 aulas – mais que o dobro do planejado.

Por fim, depois que o cartaz estava pronto, houve a exposição das produções de uma sala para que a outra avaliasse. Diferentemente do que fora planejado, os alunos formaram, espontaneamente, pequenos grupos para avaliar os cartazes. Essa dinâmica foi, portanto, algo interativo entre os alunos, que comentavam tanto a parte estética quanto a parte conceitual do que estavam lendo.

Pós-teste: Durante a aplicação do pós-teste, os alunos tiveram bastante dificuldade em compreender a primeira questão: “O que o caso da formulação do conceito de seleção natural indica sobre o papel de indivíduos *versus* grupos na ciência?”. Eles, em um primeiro momento, ficaram confusos com a palavra “*versus*” e demoraram a ter clareza a respeito do que poderiam escrever como resposta.

A análise das respostas escritas mostrou que os alunos, após julgarem ter compreendido a questão, muitas vezes a interpretaram dentro de um contexto de seleção natural, como o debate do papel da seleção de um indivíduo ou de um grupo todo, como mostrado na resposta “Os animais evoluem e variam com o tempo, gerando diferentes grupos”. Respostas como essa, que fugiam do escopo da questão sobre natureza do trabalho coletivo ou individual do cientista foram majoritárias e assinalaram a necessidade de reformulação da questão para a segunda versão da sequência didática.

A segunda questão, na qual os alunos deveriam comparar a megafauna norte americana à fauna atual e propor uma explicação para a mudança observada, não gerou dúvidas e permitiu que os alunos realmente apresentassem as ideias formadas sobre como se daria a evolução das espécies.

3.2.2 Sobre a duração da sequência didática

Os atrasos ocorridos durante a sequência didática e sua extensão por cerca de dois meses também foi considerada no processo de validação e reformulação para uma segunda versão. Para aplicação no ano seguinte, alguns prazos de trabalho dos alunos foram determinados com maior rigidez e, a fim de se evitar interromper a sequência didática para que pontos fossem retomadas e formalizados em aula com os alunos, decidiu-se incorporar momentos em que o professor-pesquisador anotaria palavras-chave e suas definições. Julgou-se necessário repensar a extensão dessa sequência didática também a fim de torná-la replicável para um maior número possível de professores e escolas.

Ainda a respeito do atraso que se desenvolveu e seus impactos para o andamento do ano letivo e do planejamento pedagógico, julga-se importante alertar que os próximos temas trabalhados seriam classificação biológica e, então, biomas brasileiros. Com o trabalho que os alunos desenvolveram, aprofundando-se no funciona-

mento da seleção natural e buscando exemplos para construir seus cartazes, as características de cada grupo de animais puderam ser mais facilmente compreendidas pelos alunos. Da mesma maneira, o tema de biomas brasileiros se converteu em uma grande prática de aplicação do que os alunos haviam aprendido sobre seleção natural dentro das condições de relevo, luminosidade e disponibilidade de água de cada uma das regiões brasileiras. Em uma semana, apenas, os alunos já conseguiam deduzir as características de cada um dos biomas do Brasil.

Ao final dessa sequência de temas, percebeu-se que o período estendido trabalhando evolução foi compensado por uma aprendizagem mais rápida a respeito de demais temas biológicos e, assim, o planejamento pedagógico anual voltou a se alinhar com o que era previsto para o ano letivo.

3.3 Segunda versão da sequência didática

A elaboração da segunda versão dessa sequência didática ocorreu após a realização do exame de qualificação para esta dissertação de mestrado e, portanto, incorporou-se, além das alterações previstas após a aplicação da primeira versão, sugestões da banca examinadora a respeito do pós-teste.

A banca examinadora apontou que a primeira questão do pós-teste deveria estar mais vinculada ao conteúdo trabalhado em sala de aula. A fim de cumprir com essa proposta, mas ainda deixar a questão aberta para o aluno manifestar sua compreensão, e não ser enviesado pela questão, o enunciado “O que o caso da formulação do conceito de seleção natural indica sobre o papel de indivíduos *versus* grupos na ciência?” foi convertido em “Estudando o caso de formulação da teoria de seleção natural, o que você aprendeu a respeito da maneira pela qual o conhecimento científico é produzido?”.

A banca examinadora também questionou a escolha para a imagem vinculada à segunda questão do pós-teste, apontando que a explicação conceitualmente correta para a extinção da megafauna envolve elementos muito mais amplos que a evolução nos termos propostos por Darwin e que, portanto, seria mais interessante se apresentar aos alunos um caso que pudesse ser corretamente explicado em termos estritamente vinculados à seleção natural. Essa contribuição da banca examinadora

foi muito valiosa; no entanto, os resultados de desempenho dos alunos, ao responderem à questão original, com as imagens selecionadas, foram bastante pertinentes para se aplicar a análise de mudança de perfil conceitual baseando-se no modelo elaborado por Cláudia Sepulveda, Eduardo Mortimer e Charbel Niño El-Hani (2013) e para discutir o processo de aprendizagem promovido pela sequência didática – resultados e discussão expostos no próximo capítulo. Frente a isso, optou-se por manter essa mesma pergunta a fim de se avaliar com maior propriedade o impacto das mudanças estabelecidas para a segunda versão da sequência didática.

Uma mudança majoritária que se estabeleceu nesta segunda versão da sequência didática foi o local destinado aos registros de repostas às perguntas que eram apresentadas aos alunos durante a sequência didática. Durante a primeira versão, aplicada em 2016, os alunos deveriam responder em seu caderno, que seria visto ao final na sequência didática; isso, no entanto, abriu espaço para que alguns alunos elaborassem registros incompletos ou mesmo nem registrassem. Nesta segunda versão, aplicada em 2017, os alunos receberiam folhas avulsas, preparadas com o cabeçalho da escola, como folhas de atividades, para serem respondidas e devolvidas ao professor ao final de cada aula.

A partir dessas considerações, a segunda versão da sequência didática pode ser esquematizada da seguinte maneira:

1ª Intervenção: pré-teste

Duração: 45 minutos

Metas:

- Captar informações sobre as impressões e conhecimentos prévios dos alunos a respeito do papel da genialidade de um cientista e do trabalho com dedicação, seja sozinho ou de maneira coletiva, no desenvolvimento de sua produção científica;
- Captar informações sobre as impressões e conhecimentos prévios dos alunos a respeito do que eles imaginam que seja evolução e de como imaginam que esse fenômeno funcione.

Dinâmica: duas questões a serem respondidas por extenso, sem limite de espaço para a resposta:

- **Questão 1:** É comum ouvirmos de maneira repetida o nome de alguns cientistas vinculados a conceitos importantes da ciência: Darwin e evolução, Newton e as leis do universo, Einstein e a relatividade... Até que ponto a fama desses cientistas é fruto de sua genialidade, de seu trabalho duro (individual ou coletivo) ou de um balanço entre essas duas características?
- **Questão 2:** O que é evolução? Como ela acontece? Forneça um exemplo.

2ª intervenção – Breve história da transmutação

Duração: 90 minutos

Metas:

Conhecimentos históricos

- Conhecer o pensamento e os movimentos vinculados à ciência que permeavam a história natural ao longo do século XVIII;
- Entender que a ideia de modificação dos seres vivos é uma consequência natural em um processo de investigação uma vez que se determina o que são os fósseis.

Conhecimentos científicos

- Compreender a origem e saber aplicar os conceitos de fósseis e transmutação.

Conhecimentos meta-científicos

- Discutir como as crenças dos estudiosos abordados implicam sobre o seu fazer científico e convivem com a ciência produzida, sem que haja, necessariamente, um conflito entre crença e ciência.

Habilidades de investigação

- Construir hipóteses;
- Concatenar informações e construir um modelo teórico.

Dinâmica: Essa intervenção, agora, seria iniciada com os alunos desenhando cientistas e acrescentando aos seus desenhos uma breve descrição do que pensavam ser o trabalho de um cientista. Esse desenho deveria ser feito em cerca de 10 minutos e então seria recolhido pelo professor-pesquisador. A parte sobre história da

ciência seria, então, introduzida aos alunos com a justificativa de que eles veriam alguns exemplos de pesquisadores, que poderiam ser entendidos como cientistas – e, de fato, o termo “cientista” fora cunhado dentro do contexto histórico que estaremos abordando – e, ao final desse processo, verificaríamos se os alunos mudaram sua opinião a respeito de como retratar esse profissional e a respeito do que é seu trabalho. De resto, não se realizou alterações no material didático utilizado em relação à primeira versão da sequência didática, mas assumiu-se que apenas o relato sobre John Ray, Buffon, Georges Cuvier e William Paley poderia ser analisado como uma intervenção completa, com uma dinâmica própria envolvendo leituras das biografias adaptadas para a faixa etária dos alunos e para o momento de sala de aula, e com os alunos realizando os exercícios de interpretação das comparações entre esqueletos de mamutes e elefantes viventes realizadas por Buffon e por Cuvier (cf. arquivos no Anexo C).

Essa atividade já contemplaria, também, um leque próprio de metas em termos de conhecimento histórico, conhecimento científicos, conhecimentos meta-científicos e habilidades de investigação, e a descrição destes foi refinada e separada das metas que eram mais pertinentes à aula sobre Lamarck ou que não foram trabalhados durante a aplicação da primeira versão – diga-se “compreender a origem do conceito de uso e desuso”. Também se assumiu que a aplicação desta dinâmica iria durar 90 minutos.

3ª intervenção – Lamarck

Duração: 45 minutos

Metas:

Conhecimentos históricos

- Conhecer a história de vida de Lamarck;
- Contextualizar Lamarck em seu momento histórico, vivenciando a Revolução Francesa, e sendo afetado pelas mudanças estatais que decorreram dela;
- Comparar o pensamento de Lamarck ao de Buffon e de Cuvier do que se refere à modificação das espécies.

Conhecimentos científicos

- Compreender a origem da teoria de progressão das espécies;

- Reconhecer o raciocínio de Lamarck e diferenciá-lo do pensamento de Buffon e de Cuvier.

Conhecimentos meta-científicos

- Discutir como as crenças dos estudiosos abordados implicam sobre o seu fazer científico e convivem com a ciência produzida, sem que haja, necessariamente, um conflito entre crença e ciência.

Habilidades de investigação

- Construir hipóteses;
- Concatenar informações e construir um modelo teórico;
- Comparar diferentes afirmações e pontos de vista.

Dinâmica: Com as observações sobre a aplicação da primeira versão da sequência didática, percebeu-se que a dinâmica sobre Lamarck contemplava um espectro de metas próprias, descritas acima e, por isso, deveria ser compreendida como uma dinâmica separada do que se chamou “Breve história da transmutação”. Para a contação da história preparada a respeito da vida de Lamarck (cf. Anexo C), assumiu-se uma duração de 45 minutos. Nos slides a serem apresentados, incorporou-se a imagem dos pés de um pato e do rosto de uma toupeira, a fim de se ilustrar os argumentos de Lamarck a respeito do uso e desuso.

4ª intervenção – Primeiras ideias de Darwin

Duração: 90 minutos (duas dinâmicas diferentes, organizadas em 45 min. + 45 min.)

Metas:

Conhecimentos históricos

- Conhecer o contexto histórico e sociocultural vitoriano em que Darwin estava imerso e que o influenciava durante a idealização de sua teoria de seleção natural e diversificação das espécies.

Conhecimentos científicos

- Compreender a origem e saber aplicar o conceito de Seleção Natural;
- Compreender a dificuldade de se estabelecer uma demarcação entre variedade e espécie e perceber que essa mesma dificuldade possibilita a ideia de modificação das espécies.

Conhecimentos meta-científicos

- Analisar, dentro do processo de construção de conhecimento vivenciado por Darwin, o processo de colaboração entre pesquisadores de diferentes especialidades;
- Perceber a colaboração como algo regular dentro do processo de construção da ciência.

Habilidades de investigação

- Consultar diferentes materiais;
- Consultar especialistas;
- Discutir descobertas e informações com os colegas.

Dinâmica: Em relação à maneira de aplicação do jogo, esta versão da sequência didática iria diferir da primeira na forma como o jogo seria distribuído aos alunos: dado o interesse da turma do ano anterior pela possibilidade de se construir um jogo eletrônico, nesta versão da sequência didática o arquivo do jogo seria repassado aos alunos em sua versão editável⁴¹ (cf. Anexo C).

A aula de discussão sobre o que os alunos viram em “Uma ideia perigosa?” seria aberta com um levantamento a respeito do que se aprendeu em relação às diferentes ideias que foram colocadas juntas para formar o panorama de seleção natural – diga-se, a fragilidade de se definir o que é mera variedade e o que é espécie; a compreensão da modificação das espécies como uma lei natural; e o papel da luta pela sobrevivência – e seria levantada também a percepção dos alunos a respeito de Darwin após conviverem com ele virtualmente por meio do jogo.

Nesse momento de discussão sobre a percepção a respeito de Darwin, o desenho de cientistas que os alunos fizeram ao início da segunda intervenção seria devolvido para os alunos, a fim de que comparassem sua produção à imagem do Darwin observado no jogo. Os alunos seriam provocados a enxergar Darwin e os demais pesquisadores que aparecem no jogo como cientista e a apreender, dessa visão, qual é o trabalho de um cientista e qual é sua real aparência.

⁴¹ O trabalho "Uma ideia perigosa?", de Eduardo Cortez, está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhável 4.0 Internacional. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

As informações sobre a licença do jogo também estão disponíveis no arquivo “README”, na pasta compartilhada, acessível por meio do link https://drive.google.com/open?id=1jsF8-AK4WD92XncZVPyKQ2_GGHxLZAJf.

Essa estrutura para a dinâmica encorporaria, portanto, os momentos dialógicos que surgiram durante a aplicação da primeira versão da sequência didática.

5ª intervenção – Coletando evidências

Duração: 90 minutos

Metas:

Conhecimentos históricos

- Reconhecer Darwin não só como um inovador em suas ideias, mas também como um bom experimentador.

Conhecimentos científicos

- Identificar, em uma situação-problema, a ocorrência de competição entre espécies;
- Discutir a respeito de como se definir e identificar uma espécie.

Conhecimentos meta-científicos

- Compreender o que é robustez de uma teoria;
- Analisar como o conceito de robustez se aplica à ideia de um ancestral comum para todos os indivíduos de uma espécie.

Habilidades de investigação

- Analisar dados;
- Construir conclusões.

Dinâmica: Dado o retorno positivo durante a aplicação desta intervenção na primeira versão da sequência didática, não se incorporou modificações ao que fora originalmente planejado, com a exceção de se pedir que os alunos registrassem suas respostas às questões apresentadas em uma folha de exercícios apropriada (cf. Anexo C).

6ª intervenção – Quando parar de coletar evidências e publicar?

Duração: 225 minutos (20 min. de discussão conceitual + 25 min. de trabalho em grupos pequenos + 135 min. de trabalho em grupos maiores + 45 minutos de apresentação dos cartazes)

Metas:

Conhecimentos históricos

- Associar o florescimento da ideia sobre descendência com modificação e seleção natural às viagens feitas por naturalistas, o que os permitia ver e comparar diversas espécies;
- Identificar o trabalho de Alfred Russel Wallace como algo natural dentro do contexto histórico;
- Reconhecer a importância de Alfred Wallace para a publicação do *Origem das Espécies*.

Conhecimentos científicos

- Associar o conceito de evolução à ideia de descendência com modificação e seleção natural.

Conhecimentos meta-científicos

- Discutir problemas vinculados ao processo científico (foco na época vitoriana) como prioridade para publicação, ética, colaboração e competição.

Habilidades de investigação

- Tomar decisões dentro um panorama de questões teóricas e procedimentais;
- Comparar modelos teóricos (Darwin X Wallace);
- Produzir conclusões.

Dinâmica: O tempo planejado à sequência de atividades que incorporam esta intervenção foi expandido em mais duas horas/aula. Isso ainda não cobriria todo o tempo utilizado durante a primeira versão da sequência didática e, por isso, pensou-se em um acompanhamento mais próximo dos alunos por parte do professor-pesquisador, verificando se a primeira etapa do trabalho realmente estava sendo realizada por todos os alunos e exigindo que se apresentasse suas anotações ao término da aula como um elemento a ser avaliado e computado no boletim do aluno.

Durante a elaboração dos cartazes, pensou-se também em um trabalho mais ativo do professor-pesquisador, abordando os alunos para verificar a existência de dúvidas, quebrando as grandes dúvidas conceituais dos alunos e as transformando em sequências de pequenas perguntas que pudessem ser respondidas com maior facilidade dentro da zona de desenvolvimento proximal do aluno, e registrando ativamente alunos que estavam trabalhando e alunos que não estavam. Apostou-se

que essa nova abordagem provocaria os alunos a trabalharem com maior afinco, facilitando a construção dos textos que incorporariam o cartaz, mas sem dar respostas prontas aos alunos.

7ª Intervenção: pós-teste

Duração: 45 minutos

Metas:

- Captar informações sobre os conhecimentos produzidos pelos alunos como fruto da sequência didática em relação à maneira pela qual a ciência se desenvolve e se há predomínio de trabalho coletivo ou individual;
- Captar informações sobre conhecimentos produzidos pelos alunos como fruto da sequência didática em relação ao mecanismo pelo qual se dá a evolução biológica.

Dinâmica: duas questões a serem respondidas por extenso, sem limite de espaço para a resposta:

- **Questão 1:** Estudando o caso de formulação da teoria de seleção natural, o que você aprendeu a respeito da maneira pela qual o conhecimento científico é produzido?
- **Questão 2:** Observe as imagens abaixo (fig. 24). As duas composições apresentam seres vivos de uma mesma região em épocas diferentes. A primeira imagem mostra a fauna norte-americana há cerca de 15 mil anos e a segunda imagem mostra a fauna atual. Explique quais foram os processos que levaram às mudanças percebidas.

Figura 24 – Imagens apresentadas aos alunos na segunda questão do pós-teste.

Fonte: Composição criada pelo autor a partir de imagens retiradas de <www.imgur.com> e <https://www.fm100.gr>. Acesso em 10 fev. 2016

No próximo capítulo desta dissertação são discutidos os resultados pertinentes aos objetivos de aprendizagem obtidos a partir desse formato da sequência didática.

4 Resultados e Discussão

Os objetivos desta pesquisa foram a elaboração e avaliação de uma sequência didática baseada na história da ciência e que trouxesse dentro de si um jogo eletrônico como uma de suas estratégias de ensino. Por sua vez, os objetivos da própria sequência didática foram a promoção do processo de ensino e aprendizagem do conceito científico de seleção natural e do aspecto meta-científico, baseado na história de Darwin, do trabalho coletivo na ciência e da ciência como um processo complexo de produção de conhecimento, que requer empenho dos cientistas, em oposição à visão desinformada de ciência como a produção trivial de caixas pretas. Considera-se que o processo de validação e aplicação da sequência didática, descrito no capítulo anterior, atestou em favor da produção da sequência em si – o que envolve os primeiros objetivos citados. Portanto, neste capítulo, discute-se os resultados a respeito dos indícios de aprendizagem produzidos ao final do processo de intervenção com os alunos, verificando-se o cumprimento dos objetivos específicos da própria sequência didática.

Para se avaliar indícios de aprendizagem a respeito do conceito científico de seleção natural, analisou-se a segunda questão do pré- e do pós-teste. Os dados coletados foram analisados de maneira qualitativa, empregando-se técnicas de análise de conteúdo (Bardin, 1977) e de análise de mudança de perfil conceitual, segundo os perfis estabelecidos por Claudia Sepulveda, Eduardo Fleury Mortimer e Charbel Niño El-Hani; os autores retratam diferentes possibilidades a respeito da compreensão de concepções evolutivas entre alunos (Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013).

Para se avaliar os indícios de aprendizagem a respeito do caráter coletivo da ciência, juntamente com a visão a respeito de como o conhecimento é produzido, analisou-se as respostas da primeira questão do pré- e do pós-teste. A questão aberta, dando ao aluno liberdade de expressar sua opinião, é a metodologia utilizada por Douglas Allchin em seu teste KNOWS (Allchin, 2011). Quando propôs o teste, Allchin discutiu a possibilidade de se associar pontos às respostas que os sujeitos participantes da pesquisa forneciam (*Ibidem*, p. 530); mas foi no curso “Ensino de História e Natureza da Ciência”, que ele ministrou na Universidade de São Paulo em 2015, que se pode observar efetivamente como se dá essa atribuição de pontos. Ao

longo da resposta fornecida, o sujeito pesquisado pode fazer diferentes enunciações a respeito de aspectos de natureza da ciência. A pontuação é atribuída, então, de acordo com o número de enunciações informadas e o grau de informação contida em cada enunciação: uma enunciação parcialmente informada, ou informada, mas mal elaborada recebe 0,5 pontos; uma enunciação informada e bem elaborada recebe 1,0 ponto. Ao final do processo de análise, compara-se a pontuação total dos indivíduos no início da pesquisa (pré-teste) e no final da pesquisa (pós-teste), bem como as categorias de aspectos de natureza da ciência – levantados por meio de técnica de análise de conteúdo – enunciados em cada uma das etapas da pesquisa. Essa foi, portanto, a metodologia de análise tomada por base para lidar com os resultados obtidos, obtendo-se uma noção a respeito do que os alunos aprenderam não apenas sobre o caráter coletivo da ciência, mas sobre aspectos de natureza da ciência em geral.

Todos os dados apresentados aqui referem-se apenas aos alunos cujas famílias expressaram sua concordância com a participação na pesquisa por meio da assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo B). Essas famílias foram 20 no total, mas apenas 18 alunos estavam presentes tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Assim sendo, este capítulo apresenta os dados pertinentes a esses 18 alunos.

Esses 18 alunos compunham um grupo de 9 meninos e 9 meninas entre 13 e 14 anos. Uma aluna era filha de uma professora; um aluno, filho da telefonista da escola; e os demais eram alunos se vínculo familiar com os funcionários. A maioria desses alunos morava perto da escola, na região do bairro do Morumbi, em São Paulo. A maioria desses alunos estudava na escola desde o Ensino Fundamental I. A maioria desses alunos também era matriculada apenas do currículo regular da escola, mas três alunas cursavam o currículo americano, no período estendido da escola.

A produção de dados a partir de poucos indivíduos atuando como objetos de pesquisa, e que são indivíduos que não poderiam ser totalmente previstos no planejamento da pesquisa, torna realmente, segundo Alda Judith Alves, a análise do tipo qualitativa a mais adequada para se empregar (Alves, 1991, pp. 59-60). Reafirmando a escolha pela análise qualitativa, Phillipp Mayring também caracterizou a pesquisa-ação – que é o estilo de pesquisa adotado no presente estudo – como essencialmente qualitativa (Günther, 2006, p. 204). Têm-se clareza de que a análise quali-

tativa, pautada em poucos participantes da pesquisa, enfraquece as alegações a respeito de como se daria a aprendizagem de novos alunos caso a sequência didática fosse replicada; contudo, por se trabalhar com poucos alunos, foi possível realizar análises que contemplavam variações individuais e utilizar esses dados para pensar em melhorias para uma futura versão da sequência didática.

4.1 Aprendizagem sobre seleção natural

As perguntas de número 2 do pré- e do pós-teste que os alunos responderam e que serviram como ferramenta de coleta de informações a respeito dos indícios de aprendizagem do conceito de seleção natural (aprendizagem considerada pela compreensão e aplicação do conceito) foram:

- “O que é evolução? Como ela acontece? Forneça um exemplo.” (pré-teste);
- “Compare as imagens (fig. 25). As duas composições apresentam seres vivos de uma mesma região em épocas diferentes. A primeira imagem mostra a fauna norte-americana há cerca de 15 mil anos e a segunda imagem mostra a fauna atual. Explique quais foram os processos que levaram às mudanças percebidas.” (pós-teste).

Figura 25 – Imagens apresentadas aos alunos na segunda questão do pós-teste.

Fonte: Composição criada pelo autor a partir de imagens retiradas de <www.imgur.com> e <<https://www.fm100.gr>>. Acesso em 10 fev. 2016

Para ambos os casos, as respostas dos alunos foram categorizadas dentro de uma das quatro opções de zonas de perfis conceituais a respeito de evolução retratados por Cláudia Sepulveda, Eduardo Fleury Mortimer e Charbel Niño El-Hani (2013): (i) perspectiva de funcionalismo intra-orgânico, na qual as explicações a respeito das mudanças na morfologia de um indivíduo são justificadas em função de sua fisiologia, sem referência a um processo evolutivo ao longo de gerações e sem um sentido definido; (ii) perspectiva de ajuste providencial, pautada em explicações teleológicas, na qual cada indivíduo passa por um processo de ajuste a necessidades específicas; (iii) perspectiva transformacional, na qual há uma introdução de perspectiva histórica aos processos evolutivos, abordando-se mudanças graduais que se acumulam ao longo de gerações, mas que ainda mantém uma essência teleológica e uma direção definida; e (iv) perspectiva variacional, na qual a evolução realmente se converte em um processo de pressões seletivas aplicadas ao longo do tempo, com claras menções a variações intraespecíficas e possibilidade de morte de indivíduos e extinções de espécies.

A fim de fornecer mais clareza sobre essa classificação das respostas dos alunos, apresenta-se aqui um exemplo de resposta classificada em cada uma das categorias de Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2013):

Perspectiva de funcionalismo intra-orgânico: A evolução é um processo natural ocorrido em seres ou algo, no qual eles crescem e mudam de maneira positiva. Um exemplo é a evolução do homem que muda de acordo sua idade. – Resposta fornecida por uma aluna à questão do pré-teste.

Perspectiva de ajuste providencial: Evolução é quando algo fica melhor, quando algo evolui, como muitos animais evoluíram ao longo do tempo, como a girafa que quando surgiu não possuía um pescoço tão longo e para sua sobrevivência precisou se adaptar e durante o tempo ela evoluiu. – Resposta de um aluno à questão do pré-teste.

Perspectiva transformacional: Evolução é algo ou alguma coisa que se evolui, ou seja, melhora conforme o tempo. Pode acontecer de forma lenta ou bem rápida. Depende do tipo de coisa ou organismo. Um exemplo é a evolução de alguns

répteis, que antes eram dinossauros. – Resposta de uma aluna à questão do pré-teste.

Perspectiva variacional: Os processos que levaram às mudanças são: as variações nas características de cada indivíduo, a luta pela sobrevivência que pode ocorrer por vários motivos como a cadeia alimentar ou mudança de temperatura, ou aquele que for mais apto no momento sobrevive para aquela ocasião. – Resposta de uma aluna à questão do pós-teste.

Algumas respostas de alunos não puderam se encaixadas com clareza em uma das categorias de perfil conceitual, por exemplo, a resposta à pergunta do pré-teste fornecida por uma aluna que dizia “Evolução é um processo em que um ser, ou algo se evolui, por meio de mudanças e transformações. Um exemplo de evolução é a galinha. A galinha é o resultado da evolução de um dinossauro.” Nessa resposta, não há uma marcação clara de teleologia no discurso, e nem um julgamento qualitativo a respeito da evolução da galinha a partir dos dinossauros; mas também não há uma explicação a respeito de como se deu esse processo evolutivo. Essa resposta, em particular, foi marcada como algo entre (iii) perspectiva transformacional e (iv) perspectiva variacional. Nesse caso, entende-se que faltam elementos conceituais para que a aluna se comprometa totalmente com a zona de perspectiva transformacional. Uma vez que ela tiver aprendido esses conceitos, é provável que ela passe a expressar esse comprometimento.

Resultados intermediários também apareceram no pós-teste, como por exemplo a resposta “Os processos que levaram a essas mudanças foram as mudanças do clima; forçou os animais a se modificar àquela temperatura”, referente à pergunta do pós-teste. Essa resposta está imbuída de teleologia, mas não é possível discernir com clareza se o aluno visualiza a mudança ocorrendo dentro de uma geração – perspectiva de ajuste providencial – ou ao longo de várias gerações – perspectiva transformacional. Nesse caso, entende-se que, para esse aluno, a sequência didática ou a pergunta apresentada não foram o suficiente para que ele se comprometesse em se expressar totalmente dentro da zona de perspectiva transformacional e, no máximo, apresentou os compromissos epistemológicos e ontológicos compartilhados entre as duas zonas em questão.

Contemplando-se os 18 alunos que estavam presentes tanto no pré-teste quanto no pós-teste, temos a distribuição de perfis conceituais mostrada na tabela 4. Nessa tabela, as respostas indicadas como “ausência de explicação” se caracterizam por uma aluna que efetivamente deixou de responder à pergunta, um aluno que escreveu “Não sei” – ambos no pós-teste –, uma aluna que não se refere à evolução biológica, mas “evolução” das ideias, e um aluno que explicou evolução como sendo o processo “quando uma coisa começa a se transformar, ex: evolução humana”, sem deixar claro um mecanismo para que essa evolução ocorresse – essas duas últimas respostas referiram-se ao pré-teste.

Tabela 4 – Distribuição de perfis conceituais do conhecimento dos 18 alunos analisados sobre seleção natural evidenciadas do pré- ao pós-teste

Perfil conceitual sobre evolução			
Perfil Pré teste	Nº de respostas	Perfil Pós teste	Nº de respostas
<i>Ausência de explicação</i>	2	<i>Ausência de explicação</i>	2
(i) Funcionalismo intra-orgânico	5	(i) Funcionalismo intra-orgânico	0
(ii) Ajuste providencial	5	(ii) Ajuste providencial	2
<i>Entre (ii) e (iii)</i>	0	<i>Entre (ii) e (iii)</i>	1
(iii) Perspectiva transformacional	4	(iii) Perspectiva transformacional	3
<i>Entre (iii) e (iv)</i>	2	<i>Entre (iii) e (iv)</i>	1
(iv) Perspectiva variacional	0	(iv) Perspectiva variacional	9

Ao se transpor esses dados para um gráfico de barras, pode-se observar com maior nitidez um deslocamento de perfis conceituais em direção à perspectiva variacional, entendida como uma versão informada de se compreender e explicar a evolução biológica (fig. 26).

O deslocamento de perfis conceituais observado é um indício de que, para essa população de alunos, de maneira geral, a sequência didática exerceu um impacto positivo sobre sua aprendizagem do conceito de seleção natural. Para que se possa ter mais clareza a respeito dessa afirmação, mapeou-se o trajeto conceitual de cada aluno participante da pesquisa; os dados são apresentados na tabela 5.

Figura 26 – Distribuição identificada de perfis conceituais.

Distribuição de respostas para o pré- e pós-teste, categorizadas segundo os perfis conceituais elencados por Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2013).

Tabela 5 – Todas as possibilidades de caminhos de transição completa de um perfil conceitual para outro

De	Para	Nº de respostas	Tipo de transição
Ausência de explicação	Ausência de explicação	0	-
Ausência de explicação	Funcionalismo intra-orgânico	0	↑
Ausência de explicação	Ajuste providencial	1	↑
Ausência de explicação	Perspectiva Transformacional	0	↑
Ausência de explicação	Perspectiva variacional	1	↑
Funcionalismo intra-orgânico	Ausência de explicação	1	↓
Funcionalismo intra-orgânico	Funcionalismo intra-orgânico	0	-
Funcionalismo intra-orgânico	Ajuste providencial	1	↑
Funcionalismo intra-orgânico	Entre ajuste providencial e perspectiva transformacional	1	↑
Funcionalismo intra-orgânico	Perspectiva Transformacional	0	↑
Funcionalismo intra-orgânico	Perspectiva variacional	2	↑
Ajuste providencial	Funcionalismo intra-orgânico	0	↓
Ajuste providencial	Ajuste providencial	0	-

De	Para	Nº de respostas	Tipo de transição
Ajuste providencial	Perspectiva Transformacional	1	↑
Ajuste providencial	<i>Entre perspectiva transformacional e perspectiva variacional</i>	1	↑
Ajuste providencial	Perspectiva variacional	3	↑
Perspectiva transformacional	Ausência de explicação	1	↓
Perspectiva transformacional	Funcionalismo intra-orgânico	0	↓
Perspectiva transformacional	Ajuste providencial	0	↓
Perspectiva transformacional	Perspectiva Transformacional	2	↓
Perspectiva transformacional	Perspectiva variacional	1	↑
<i>Entre perspectiva transformacional e perspectiva variacional</i>	Perspectiva variacional	2	↑

Representam-se as possibilidades de caminhos a partir de cada perfil a partir das informações das duas primeiras colunas. Na terceira coluna, indica-se quantos alunos percorreram essas possibilidades. Com diferentes cores e com as setas na quarta coluna, sinaliza-se uma transição em direção a uma explicação desinformada (vermelho / seta para baixo), ausência de transição (azul / traço) ou transição em direção a uma explicação informada (verde / seta para cima).

Essa tabela apresenta não apenas os caminhos efetivamente traçados pelos alunos, mas todas as possibilidades de caminhos de transição completa de um perfil conceitual para outro. Em verde e acompanhados de uma seta para cima, estão marcados os caminhos em direção a uma explicação informada sobre evolução; em azul e acompanhados de um traço, estão marcados os casos em que não haveria mudança de perfil conceitual; e, em vermelho e acompanhados de uma seta para baixo, os casos em que o perfil conceitual teria mudado em direção a uma explicação desinformada.

O que se vê é que dois alunos mudaram seus conceitos sobre evolução em direção a explicações entendidas como desinformadas, pois deixaram de fornecer explicações sobre como funciona evolução no pós-teste. Um desses alunos, ao responder à questão que pedia que ele fornecesse uma explicação sobre a mudança observada na fauna norte-americana, escreveu “não sei”; contudo, na pergunta do pós-teste cujo objetivo era angariar dados sobre a visão do aluno sobre natureza da ciência, que perguntava “Estudando o caso de formulação da teoria de seleção natural, o que você aprendeu a respeito da maneira pela qual o conhecimento científico é produzido?” ele escreveu: “A teoria da seleção natural é a teoria de que os animais mais aptos sobrevivem. É preciso muito estudo e inspiração para chegar na teoria”. Essa resposta evidencia aprendizagem sobre o conceito de seleção natural, mas,

como visto em sua resposta para a pergunta sobre evolução, uma ausência de concretização da habilidade de aplicar esse conhecimento. Esse é um dado importante para uma revisão futura da sequência didática: será necessário desenvolver práticas que permitam aos alunos aplicar o conceito de seleção natural; e não apenas descrevê-lo.

A outra aluna cujo perfil cambiou em direção a uma explicação desinformada, na verdade, deixou de responder à questão do pós-teste sobre evolução. A ausência de resposta pode tanto significar que a sequência didática apenas lhe gerou dúvidas para questionar seus próprios conhecimentos prévios, sem lhe permitir concretizar um novo conceito, quanto pode ter sido originada por uma distração da aluna e, assim, o que se tem é um artefato produzido pela dinâmica de análise proposta.

Pela análise da tabela, também se notam dois alunos que não alteraram seu perfil conceitual. No caso, ambos iniciaram com ideias categorizadas em uma perspectiva transformacional e finalizaram ainda categorizados dentro dessa perspectiva transformacional. Tal perspectiva, deve-se lembrar, leva em consideração a passagem do tempo para que ocorra a evolução biológica e a necessidade de gerações que, pouco-a-pouco, nascem diferentes de seus ancestrais. Essa não é uma visão considerada informada, porque ela toma a modificação requer um sentido e um propósito para a modificação e não se considera a possibilidade de morte dos seres vivos.

A persistência de visões teleológicas embrincadas a explicações sobre evolução biológica é fator constante em muitas pesquisas na área. Rosana Tidon e Richard Lewontin identificaram que explicações teleológicas persistem até mesmo entre professores de biologia (Tidon e Lewontin, 2004). Maicon Azevedo indica que expressões teleológicas fazem parte, inclusive, da rotina das explicações sobre as causas da evolução biológica mesmo entre cientistas, quando, informalmente, o locutor quer simplificar a maneira de abordar o assunto, ou encurtar suas proposições e, quando faz isso, o próprio cientista não atribui sentido literal às suas palavras (Azevedo, 2007, p. 43). O autor indica, ainda, o fato de os próprios contemporâneos de Darwin não terem clareza a respeito de se a seleção natural extirpava a Biologia de explicações teleológicas – ponto defendido por Thomas Huxley – ou se abraçava a teleologia e lhe dava nova roupagem – visão de Asa Grey (*Ibidem*, p. 44). Esse debate ainda ecoa entre filósofos e historiadores modernos: Marco Solinas, por

exemplo, defende que Darwin trabalhou com uma proposta genealógica, tendo se distanciado totalmente da teleologia escolástica (Solinas, 2015); Robert Richards, por outro lado, afirma que traços de argumentos teleológicos são inevitáveis na obra de Darwin, e que esses argumentos foram causados pelo próprio contexto histórico em que o naturalista estava inserido e com o qual dialogava (Richards, 2016).

A teleologia muitas vezes faz parte do discurso biológico – por exemplo, ao se afirmar que “o coração serve para bombear sangue”. Sendo o discurso teleológico um compromisso comum também às diferentes zonas de perfil conceitual, conforme mapeado por Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2013, p. 467), o que se vê nessas respostas é, então, um compromisso com esse tipo de discurso mais geral.

Retomando-se a análise da tabela 5, vê-se o caso de um aluno que partiu de uma perspectiva de ajuste providencial e encerrou suas explicações em uma perspectiva transformacional. Essas duas zonas de perfis conceituais compartilham compromissos ontológicos e epistemológicos a respeito da economia da natureza e de um pensamento essencialista (Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013, p. 267). Esses compromissos compartilhados facilitam a transição entre esses dois perfis. Pode-se perceber, adicionalmente, que esse aluno passou a incorporar um pensamento filogenético, envolvendo gerações dentro de uma população ou espécie. Ainda que dentro de uma perspectiva de progresso gradual, pode-se considerar isso uma aprendizagem importante, pois a consideração a respeito de um fenômeno se estender ao longo de gerações é algo fundamental para se compreender a evolução biológica – e algo que o aluno não demonstrava no pré-teste.

Ao final da sequência didática, nove alunos dentre os dezoito se expressavam em uma abordagem variacional – dados transpostos para a tabela 6. Desses nove, uma aluna partiu da ausência de explicação sobre evolução biológica, relacionando o termo “evolução” apenas ao progresso de ideias e de projetos; dois alunos partiram de uma perspectiva de funcionalismo intra-orgânico; três alunos partiram de uma visão pautada em ajuste providencial; um aluno iniciou seu raciocínio dentro da perspectiva transformacional; e duas alunas já se encontravam inicialmente entre a perspectiva transformacional e a variacional.

O fato de esses alunos terem iniciado em diferentes zonas de perfis conceituais e terem todos terminado a sequência didática se manifestando dentro da zona de perspectiva variacional ilustra o que Cláudia Sepulveda, Eduardo Mortimer e Charbel El-Hani indicam: todas as zonas de perfis conceituais se comunicam e não é neces-

sário que o aluno transite gradualmente entre uma zona e outra (Sepulveda, Mortimer e El-Hani, 2013, p. 471).

Tabela 6 – Dados de alunos que terminaram a sequência didática expressando-se dentro de um perfil conceitual de perspectiva variacional.

De	Para	Nº de respostas	Tipo de transição
Ausência de explicação	Perspectiva variacional	1	↑
Funcionalismo intra-orgânico	Perspectiva variacional	2	↑
Ajuste providencial	Perspectiva variacional	3	↑
Perspectiva transformacional	Perspectiva variacional	1	↑
<i>Entre perspectiva transformacional e perspectiva variacional</i>	Perspectiva variacional	2	↑

Na terceira coluna, indica-se quantos alunos percorreram essas possibilidades. As setas verdes para cima representam que a transição de zonas de perfis conceituais se deu em direção a uma explicação informada.

Voltando a analisar a tabela 5, vemos que dois alunos finalizaram a sequência didática dentro de uma perspectiva de ajuste providencial: um havia partido da ausência de explicação e outro do funcionalismo intra-orgânico. Para discutir esses dados, podemos recorrer à análise realizada por Leonardo Augusto Luvison Araújo a respeito das dificuldades que envolvem a aprendizagem de evolução. O primeiro fator apontado por Araújo é a possibilidade de conflito entre os conceitos evolutivos e as crenças religiosas dos alunos (Araújo, 2012, pp. 11-12). Ao longo do percurso desta pesquisa, o que se percebeu dos alunos, de maneira geral, foi uma ausência de apego religioso, com alguns já se declarando ateus. Uma exceção a este cenário, no entanto, se deu justamente com o aluno que partiu da ausência de explicação e finalizou dentro do perfil de ajuste providencial: esse aluno se mostrava bastante apegado à sua fé, mencionando Deus de maneira rotineira e sempre portando um crucifixo. Este caso se encaixa, portanto, no argumento de Leonardo Araújo.

Ainda pode-se apontar que, ao longo da sequência didática, observou-se muitas dúvidas dos alunos a respeito de como trabalhar o pensamento e se expressar dentro de perspectiva populacional. É razoável, então, supor que os alunos que permaneceram com explicações dentro de um panorama de ajuste providencial não conseguiram superar suas dificuldades em lidar com o pensamento populacional.

Evidentemente, a manutenção de perspectivas religiosas e as dificuldades de se estabelecer um pensamento capaz de descrever eventos com uma população de

indivíduos não são excludentes entre si, mas pensar na questão particular que envolve o pensamento sobre dinâmicas populacionais sugere que práticas de aplicação do conceito de evolução biológica, incorporadas a uma próxima versão da sequência didática, como já foi apontado acima, poderiam favorecer os alunos no processo de lidar com esse empecilho e, potencialmente, favorecer a concretização da aprendizagem para um número maior de alunos.

Encerrando essa análise, nos deparamos com um aluno que saltou do funcionalismo intra-orgânico para uma concepção entre ajuste providencial e perspectiva transformacional, e uma aluna que saltou de ajuste providencial para algo entre perspectiva transformacional e perspectiva variacional. No primeiro caso, o aluno tinha uma dificuldade global para organizar suas ideias e expressá-las de maneira escrita, sendo todos os professores da escola orientados a fornecerem uma atenção especial a ele. Podemos imaginar que sua concepção se encaixe efetivamente dentro da perspectiva transformacional, mas, devido às suas dificuldades para se expressar, ele acabou deixando de abordar com clareza a dimensão temporal a que se referia e escreveu “Os processos que levaram a essas mudanças foram as mudanças do clima; forçou os animais a se modificar àquela temperatura”. O segundo caso envolve uma aluna cuja família tem raízes religiosas bastante fortes e, assim, ela poderia estar ainda enfrentando a dificuldade aprontada por Leonardo Araújo (2012) – e, particularmente, estar em processo de estabelecer compromissos ontológicos e epistemológicos na zona de perfil conceitual variacional. A resposta dessa aluna ao pós-teste foi “Os animais da primeira imagem passaram por um processo de evolução até chegarem nos animais da imagem à direita. Os animais passaram pela seleção natural para sobreviverem e se tornarem os mais aptos para viverem mais e melhor, os menos aptos foram se extinguindo durante o tempo, enquanto os mais aptos foram sobrevivendo e se reproduzindo.”. Com essa resposta, vê-se que ela aborda a necessidade de várias gerações para a evolução se manifestar, bem como a possibilidade de morte para os indivíduos, mas a expressão “Os animais passaram pela seleção natural *para* sobreviverem e se tornarem os mais aptos *para* viverem mais e melhor” deixa a dúvida a respeito de se a aluna considerava que a seleção natural seria reduzida à produção de adaptações e aqueles indivíduos que foram extintos estariam de fora desse processo de seleção.

Uma última análise que a tabela 5 nos permite fazer é a comparação das mudanças de perfil conceitual dentro da legenda de cores: dois alunos se enquadraram

dentro da legenda vermelha (mudança em direção a um conceito desinformado), dois alunos se enquadraram dentro da legenda azul (ausência de mudança) e 14 alunos se enquadraram dentro da legenda verde, que significa que a sequência didática lhes permitiu desenvolver uma concepção melhor informada sobre evolução se comparada à sua perspectiva inicial. Esses valores tanto atestam em função da eficiência relativa da sequência didática quanto apontam que ela não está ainda em um estado de excelência – que seria alcançada, idealmente, quando todos os alunos se expressassem dentro de um perfil conceitual de perspectiva variacional – e que, se novamente aplicada, pode passar por melhorias.

4.2 Compreensão sobre aspectos de natureza da ciência

As perguntas do pré- e do pós-teste que os alunos responderam e que serviram como ferramenta de coleta de informações a respeito dos indícios de aprendizagem sobre natureza da ciência foram:

- “É comum ouvirmos de maneira repetida o nome de alguns cientistas, vinculados a conceitos importantes da ciência: Darwin e evolução, Newton e as leis do universo, Einstein e a relatividade... Até que ponto a fama desses cientistas é fruto de sua genialidade, de seu trabalho duro (individual ou coletivo) ou de um balanço entre essas duas características?” (pré-teste);
- “Estudando o caso de formulação da teoria de seleção natural, o que você aprendeu a respeito da maneira pela qual o conhecimento científico é produzido?” (pós-teste).

Como uma primeira análise dos resultados a respeito da compreensão de aspectos de natureza da ciência desenvolvidos durante a sequência didática, categorizou-se as respostas dos alunos ao pré- e pós-teste em função do que elas manifestavam a respeito do caráter coletivo ou individual da ciência e em função das ideias expressadas a respeito de como o conhecimento científico era produzido: se trivialmente e de maneira descontextualizada, como uma caixa preta, ou se por meio de um processo complexo e contextualizado (tabela 7).

Tabela 7 – Número de respostas que manifestaram as diferentes concepções analisadas sobre natureza da ciência

Pré-teste		Pós-teste	
	Manifestações sobre o aspecto individual / Coletivo da natureza da ciência		Manifestações sobre o aspecto individual / Coletivo da natureza da ciência
Individual	8	Individual	2
Balanço entre Individual e Coletivo	4	Balanço entre Individual e Coletivo	2
Coletivo	5	Coletivo	14
	Manifestações sobre como o conhecimento científico é produzido		Manifestações sobre como o conhecimento científico é produzido
Caixa Preta	4	Caixa Preta	0
Balanço entre Caixa preta e processo complexo	1	Balanço entre Caixa preta e processo complexo	0
Processo complexo	10	Processo complexo	17

Observa-se que, ao se depararem com a questão do pré-teste, 17 dos 18 alunos discutiram o aspecto individual ou coletivo da natureza da ciência. Dentre esses 17 alunos, oito acreditavam que, na ciência, predominava um trabalho individual; quatro acreditavam em um balanço de trabalho individual e coletivo; e cinco acreditavam no predomínio de trabalho coletivo.

Ainda em suas respostas, dentre os 18 respondentes, 15 se manifestaram expressando concepções sobre como se daria o processo para a produção do conhecimento científico. Quatro alunos descreveram o conhecimento científico como as caixas pretas descritas por Bruno Latour (2013); uma aluna dava a entender que o conhecimento científico ora poderia surgir trivialmente na mente de cientistas deslocados de seu contexto e ora requereria empenho desse cientista para descobrir respostas para suas perguntas; dez alunos, por fim, descreveram a ciência como um

processo complexo de produção de conhecimento, que sempre requer empenho do cientista.

A fim de se ilustrar essas categorias de análise, apresenta-se aqui algumas das respostas dos alunos:

Ciência como um empreendimento individual / Ausência de abordagem sobre como o conhecimento é produzido: “Esses cientistas foram famosos porque eles descobriram o que muitas pessoas tinham dúvida”.

Ciência como um balanço entre empreendimentos individuais e coletivos / Ausência de abordagem sobre como o conhecimento é produzido: “É um fruto coletivo e individual ao mesmo tempo, pois alguns desenvolveram os seus próprios conceitos, depois outros cientistas aprimoram os conceitos de outros cientistas, para criar uma tese mais aprimorada, e melhor”.

Ciência como um empreendimento predominantemente individual / O conhecimento científico é produzido como uma caixa preta, de maneira trivial e descontextualizada: “Os cientistas em grande destaque se tornaram famosos pelo trabalho duro que tiveram em divulgar suas teorias e pela capacidade de ter ideias fora de sua época”. – Nesse caso, nota-se que a aluna atribui a necessidade de empenho de um cientista para “divulgar suas teorias”, mas não para desenvolvê-las”.

Ciência como um empreendimento predominantemente individual / O conhecimento científico é produzido ora como uma caixa preta, ora por meio de um processo que requer empenho do cientista: “Em minha opinião é um balanço entre essas duas características, pois de qualquer maneira eles trabalharam duro em suas descobertas, mas também tendo como ajuda a sua genialidade. Mas também nem todos eram gênios”.

Ciência como um empreendimento predominantemente individual / O conhecimento científico é produzido de maneira complexa: “É um pouco de tudo, pois eles contam muito com sua genialidade, mas também precisam se esforçar muito e correr atrás das informações. Muitas vezes eles trabalham individualmente,

mas não totalmente, pois eles se baseiam em informações que outras pessoas inventaram ou descobriram”.

Ciência como um empreendimento coletivo / O conhecimento científico é produzido de maneira complexa: “Eles ficam famosos por conta de tudo, suas descobertas, trabalho duro, esforço, divulgação de suas ideias e ele consegue chegar nas descobertas trabalhando em grupo”

Essas categorias de respostas foram também investigadas no pós-teste. Nessa ocasião, os 18 alunos se manifestaram a respeito do aspecto individual ou coletivo da natureza da ciência. Dois alunos ainda descreviam a ciência como algo predominantemente individual; outros dois alunos traziam em sua resposta um balanço entre trabalho individual e coletivo; e 14 alunos apontaram o predomínio do caráter coletivo no trabalho científico.

A respeito da maneira pela qual o conhecimento científico é produzido, 17 alunos se manifestaram descrevendo essa produção como um processo complexo e um aluno não se manifestou.

Seguindo o modelo de pontuação do teste *Knowledge of Nature of Whole Science* – KNOWS (Allchin, 2011), a caracterização da ciência como empreendimento coletivo e a caracterização da produção do conhecimento como um processo complexo e contextualizado receberam 1,0 ponto. A caracterização da ciência como empreendimento individual e a caracterização do processo de produção de conhecimento como produção de caixas pretas instantâneas e de maneira descontextualizada receberam 0,0 pontos. Respostas que apontaram uma situação de equilíbrio – marcadas por expressões como “fruto coletivo e individual ao mesmo tempo”, por exemplo – receberam 0,5 pontos. Essa maneira de atribuir pontos permitiria que um aluno com concepção informada desses dois aspectos de natureza da ciência obtivesse um score total de 2,0 pontos, ao passo que uma visão que não manifestasse informações sobre os aspectos de natureza da ciência resultaria em um score de 0,0 pontos e os valores intermediários poderia variar de 0,5 em 0,5 pontos. Pensando na pontuação total para a população de alunos, o Score máximo seria de 36 pontos, caso todos os participantes manifestassem visões informadas a respeito dos aspectos coletivo e complexo da ciência.

Organizando-se essas pontuações dentro de cada aspecto analisado de natureza da ciência, chegam-se aos totais apresentados na tabela 8:

Tabela 8 – Somas das pontuações obtidas com as afirmações a respeito de natureza da ciência

Pontuação Pré-teste		Pontuação Pós-teste	
Aspecto de natureza da ciência	Pontuação total entre os 18 alunos	Aspecto de natureza da ciência	Pontuação total entre os 18 alunos
Ciência Individual / Coletiva	7	Individual / Coletivo	15
Conhecimento produzido como caixas pretas / Conhecimento produzido de maneira complexa	10,5	Conhecimento produzido como caixas pretas / Conhecimento produzido de maneira complexa	17
Pontuação total para os dois aspectos	17,5	Pontuação total para os dois aspectos	32

Os valores da tabela 8 sinalizam, de maneira geral, a ocorrência de aprendizagem sobre natureza da ciência ao longo da sequência didática. Analisando-se os dados por aluno, e não mais pensando na população de alunos investigada, a tabela 9 apresenta as médias de pontuação entre os alunos para a compreensão da ciência como empreendimento coletivo ou individual e para a compreensão do conhecimento como sendo gerado como caixas pretas descontextualizadas ou o conhecimento sendo gerado por um processo complexo e contextualizado.

Com essa análise, ainda se pode observar um crescimento nas pontuações, indicando que a sequência didática exerceu efetivamente uma contribuição para o estabelecimento de concepções informadas a respeito da natureza da ciência.

Com o intuito de mapear os caminhos percorridos por cada aluno em suas mudanças de concepção sobre os dois aspectos estudados da natureza da ciência, produziu-se as matrizes apresentadas nas tabelas 10 e 11. Nelas, a concepção inicial do aluno é mostrada em cada linha, enquanto a concepção final é mostrada em cada coluna. “Ausência” significa que o aluno não se manifestou a respeito daquele aspecto de natureza da ciência. Novamente as cores são utilizadas para indicar alterações de concepção: verde para alunos que manifestaram maior informação; vermelho para alunos que manifestaram menor informação; azul para alunos que se

mantiveram manifestando pouca informação; e preto para os alunos que já se mostravam informados desde o início e assim se mantiveram. Os totais para cada percurso são apresentados abaixo das matrizes.

Tabela 9 – Médias por aluno das pontuações obtidas com as afirmações a respeito de natureza da ciência no pré- e no pós-teste

Pontuação Pré-teste		Pontuação Pós-teste	
Aspecto de natureza da ciência	Pontuação média entre os alunos	Aspecto de natureza da ciência	Pontuação média entre os alunos
Ciência Individual / Coletiva	0,39	Individual / Coletivo	0,83
Conhecimento produzido como caixas pretas / Conhecimento produzido de maneira complexa	0,58	Conhecimento produzido como caixas pretas / Conhecimento produzido de maneira complexa	0,94
Pontuação média para os dois aspectos	0,97	Pontuação média para os dois aspectos	1,78

Tabela 10 – Variações das concepções dos alunos, entre o pré- e pós-teste, a respeito da Ciência como empreendimento individual / coletivo

Ciência como empreendimento individual / coletivo				
<i>De: \ Para:</i>	<i>Ausência</i>	<i>Individual</i>	<i>Ambos</i>	<i>Coletivo</i>
<i>Ausência</i>	0	0	0	1
<i>Individual</i>	0	1	0	7
<i>Ambos</i>	0	0	2	2
<i>Coletivo</i>	0	1	0	4
Alunos que se informaram				
Mantiveram a mesma concepção informada				
Mantiveram a mesma concepção com pouca informação				
Apresentaram menor informação				
				10
				4
				3
				1

Tabela 11 – Variações das concepções dos alunos, entre o pré- e pós-teste a respeito da produção de conhecimentos como caixas pretas ou por meio de um processo complexo

Conhecimento produzido como caixa preta / por meio de processo complexo					
De: \ Para:	Ausência	Caixa preta	Ambos	Complexo	
Ausência	0	0	0	3	
Caixa preta	0	0	0	4	
Ambos	0	0	0	1	
Complexo	1	0	0	8	
Alunos que se informaram					8
Mantiveram a mesma concepção informada					8
Mantiveram a mesma concepção com pouca informação					0
Apresentaram menor informação					1

Pode-se perceber que, para cada um dos aspectos de natureza da ciência estudados, houve um caso de mudança em direção a uma menor manifestação de informação a respeito da natureza da ciência (marcações em vermelho). No primeiro caso – tabela 10 –, refere-se ao um aluno que respondeu não saber explicar a seleção natural na questão conceitual e que, nesta questão, que versava sobre natureza da ciência, afirmou “A teoria da seleção natural é a teoria de que os animais mais aptos sobrevivem. É preciso muito estudo e inspiração para chegar na teoria.”. Nesse caso, poderíamos tanto atribuir esse resultado a uma dificuldade de interpretação das questões, ou à possibilidade de esse aluno não ter se sensibilizado com a sequência didática e ter efetivamente ficado apenas confuso com toda a informação trabalhada. Uma futura reavaliação desses dados será feita, utilizando-se as produções dos alunos que foram entregues durante a sequência didática e as respostas às provas aplicadas no trimestre, que tiveram como tema o assunto estudado ao longo desta sequência didática a fim de se ter mais clareza a respeito deles.

No segundo caso – tabela 11 –, a referência a uma transição em direção a uma manifestação menor de informação foi produzida por um aluno que, no pré-teste, apontou o conhecimento científico como sendo fruto de um processo complexo e contextualizado e terminou, no pós-teste, não se manifestou sobre o assunto. Essa ausência de manifestação deve ser interpretada, na verdade, como uma au-

sência de clareza na resposta do aluno. Ele escreveu: “Ele [o conhecimento científico] é produzido após muitas pesquisas sobre o assunto e, depois de um tempo, ele acha a prova.” A expressão “acha a prova” pode ser compreendida como um repentino *insight*, descontextualizado do trabalho do cientista, mas pode ser também uma referência ao fato de se chegar no resultado de uma série de experimentos. Como no caso anterior, a compreensão a respeito da visão que esse aluno passou a sustentar sobre natureza da ciência poderá ser obtida por meio de novos estudos no futuro.

Retornando o olhar à Tabela 10, vê-se que três alunos mantiveram sua maneira de perceber o aspecto individual ou coletivo da natureza da ciência. O aluno que se manteve percebendo a ciência como algo individual foi o mesmo que apresentou a resposta acima, que não nos permitiu discernir claramente se ele percebia o conhecimento como o fruto de trabalho complexo ou como fruto de um *insight* repentino. Em sua resposta, a referência que se tomou para avaliar a postura do aluno sobre a ciência ser predominantemente coletiva ou individual foi a frase “ele acha a prova”. Esse “ele” parece fazer referência a um cientista e, por estar no singular, supõem-se que o aluno imaginava uma pessoa trabalhando sozinha.

As outras duas respostas que se mantiveram manifestando pouca informação partiram de uma visão balanceada de trabalho coletivo e individual. Sobre isso, as respostas ao pós-teste foram: “Eu aprendi que o conhecimento dos cientistas muitas vezes são realizados em grupos, mas também existem outros tipos de cientistas que preferem trabalhar sozinho (...) (*sic*)” e “O conhecimento científico é um processo pelo qual um indivíduo ou um grupo de indivíduos trabalham para desvendar uma curiosidade ou para investigar algo prático (...)”. Como, ao longo da sequência didática, deu-se bastante ênfase ao trabalho coletivo no episódio histórico retratado, supõe-se que essas descrições de um cientista preferindo, ocasionalmente trabalhar sozinho, sejam derivadas de visões que os alunos tiveram a respeito da ciência ou de episódios históricos, eventualmente presentes na internet ou em livros didáticos. Em casos em que o aluno já está acostumado a ver a ciência de certa maneira, que não se alinha realmente às concepções informadas a respeito de natureza da ciência, indica-se que a apropriação da concepção informada é adquirida não após um estudo de caso, mas ao longo de sequências de estudos de caso que abordam os mesmos aspectos de natureza da ciência (Akerson, Abd-El-Khalick e Lederman, 2000; Allchin, Andersen e Nielsen, 2014; Buck *et al.*, 2014; Rudge e Howe, 2009).

Os demais dados de transição de concepções, apresentados nas tabelas 10 e 11, indicam, mais uma vez a eficiência em potencial desta proposta de sequência didática para se trabalhar os aspectos de natureza da ciência propostos: dez alunos passaram a descrever a ciência como um empreendimento predominantemente coletivo e outros quatro que já tinham essa concepção assim permaneceram.

Sobre o modo pelo qual a ciência é produzida, também se vê que oito alunos passaram a descrever essa produção como um processo complexo e outros oito que já se manifestavam assim desde o início mantiveram essa concepção.

A respeito da seleção do episódio histórico escolhido para se fazer essa abordagem, pode-se perceber, por meio das respostas dos alunos no pós-teste, o quanto esse estudo foi ilustrativo. Dos 18 alunos, oito manifestaram-se explicitamente sobre o episódio histórico, dizendo:

(i) “Darwin fez um monte de experimentos.”

(ii) “A formulação de uma teoria, ou como o conhecimento científico é formulado, começa com alguma coisa que o pensador observou e achou interessante, por exemplo, quando Darwin começou a coletar os materiais em sua viagem e a classificá-los.

Depois este pensador começou a analisar mais profundamente esta coisa interessante e a coletar evidências para formular sua ideia. Essa parte do processo é feita de modo coletivo: troca de informações, pesquisas e trabalhos de outros cientistas e experimentos com ajuda de outros (dependendo da área em que acontece o experimento e a sua área, será preciso alguém mais experiente que você para ajudar) são alguns exemplos da coletividade do trabalho que, como visto, não se limita a só um grupo de pessoas, que na verdade pode se expandir à medida que for necessário.

A última parte é quando chega a hora de ‘passar a limpo’ todo o trabalho feito em uma teoria, por exemplo. Assim o pensamento estará oficialmente presente no mundo científico, mas não necessariamente ele será aceito ou criticado.”

(iii) “A teoria da seleção natural é a teoria de que os animais mais aptos sobrevivem. É preciso muito estudo e inspiração para chegar na teoria.”

(iv) “A teoria da seleção natural foi produzida através da viagem de Darwin, depois ele foi dando a sua pesquisa para vários cientistas, para eles verem seu ponto de vista.”

(v) “... Como Darwin, que precisou de ajuda de outros para suas conclusões.”

(vi) “Darwin, por exemplo, consultou especialistas em outras áreas e recebia ajuda de outras pessoas e fez muitas experiências diferentes até, depois de muito tempo, conseguir um resultado.”

(vii) “Como visto no processo de descoberta de Darwin, ao desenvolver amizade e conhecimento com outros pesquisadores ou até mesmo políticos, Darwin obteve peças fundamentais de seu ‘quebra-cabeça’ onde menos esperava.”

(viii) “Como o caso de Darwin, os pesquisadores partem em expedições para procurar na natureza evidências de suas teorias.

É claro que a sociedade e o local onde os pesquisadores vivem afeta, e muito, seus trabalhos, como no caso de John Ray (muito influenciado pelas ideias religiosas de seu tempo).”

Apesar de nem sempre os alunos apresentarem informações que expressem uma retratação fiel da história estudada, como a resposta (iii), que apenas diz que foi “necessário muito estudo e inspiração” para se chegar à teoria de seleção natural, ou a resposta (viii), que coloca a expedição de Darwin como algo que tinha o objetivo de procurar evidências para a teoria de seleção natural, os alunos foram capazes de fazer essas informações dialogarem com sua percepção sobre o que é ciência e como ela funciona. Essa é justamente a proposta apresentada por Douglas Allchin (2013) e Don Metz (2013), referências adotadas para a produção deste trabalho.

5 Considerações finais

Esta dissertação buscou se alinhar a uma das abordagens de ensino de ciências que têm ganhado atenção nos últimos anos: o ensino por meio de episódios históricos com o intuito de favorecer situações de ensino e aprendizagem sobre conceitos científicos e elementos de natureza da ciência. Em adição, incorporou-se às metodologias desenvolvidas um jogo construído com foco educacional, que permite aos alunos se inserirem, por meio de um avatar, no ambiente e no contexto que está sendo estudado.

Os conceitos científicos que se desejou que os alunos aprendessem diziam respeito à teoria evolutiva por meio da seleção natural e, para promover essa aprendizagem, selecionou-se o episódio histórico em que Darwin desenvolvia suas primeiras ideias a respeito desse tema, rascunhando em cadernos privados, informando-se e dialogando com outros naturalistas e realizando experimentos. Na adaptação desse episódio histórico para a sala de aula, enfatizou-se o papel das pessoas ao redor de Darwin – pesquisadores, familiares e amigos – para que ele pudesse desenvolver suas ideias. Com isso, esperava-se que os alunos pudessem descrever a ciência como um empreendimento essencialmente coletivo, e o conhecimento científico como o fruto de um processo complexo de produção em que está em pauta o empenho do cientista, tendo que lidar com dúvidas e dificuldades até conseguir estabelecer uma teoria – em vez de simplesmente imaginarem que as teorias são frutos de repentinos *insights*.

A fim de que os alunos também pudessem perceber e descrever Darwin dentro de um contexto histórico, e não imaginassem que o pensamento sobre evolução fosse fruto de um acaso ou de uma disputa descontextualizada com Lamarck, abordou-se brevemente pensadores que discutiam o caráter mutável ou fixo das espécies desde o início do século XVIII.

A fim de se ter maior segurança a respeito da forma que a situação de ensino e aprendizagem seria apresentada aos alunos, moldou-se essa proposta dentro dos parâmetros de sequência didática apresentados no trabalho de Martine Méheut e Dimitris Psillos (2004) (discutido também em maior profundidade em Méheut, 2005). Percebendo-se que a apresentação do episódio histórico estava muito pautada em dinâmicas de oralidade, utilizou-se o referencial de análise discursiva proposto por

Eduardo Mortimer e Phill Scott (2002) para se planejar como se dariam os momentos de diferentes tipos de discurso. Os planejamentos de dinâmicas da sequência didática e de análise discursiva foram sobrepostos de maneira complementar, garantindo um maior controle das ações do professor e a estruturação de uma ferramenta robusta – isso é, capaz de cobrir diferentes vieses – de análise e validação da sequência didática.

Seguindo um cronograma de validação prévia, pautada em referenciais teóricos, e validação *in loco*, com o acompanhamento de uma triangulação com análise de vídeos, produções dos alunos e caderno de campo do pesquisador, a sequência proposta foi moldada para uma aplicação final em 2017 e, a partir dessa aplicação, por meio de pré- e pós-teste, extraíram-se dados sobre os indícios de aprendizagem a respeito do conceito de seleção natural e a respeito da natureza da ciência – marcadamente, sobre se os alunos a viam como predominantemente individual ou coletiva e sobre se eles entendiam o conhecimento científico como caixas pretas ou como fruto de um complexo sistema de elaboração. Esses dados foram analisados no capítulo 4, de Resultados e Discussão.

Dentro da população de alunos cujas famílias consentiram a participação na pesquisa e que estiveram presentes em ambos os testes, obteve-se indícios de que as intervenções de ensino foram capazes de promover a aprendizagem do conceito de evolução por meio de seleção natural, com os alunos percebendo essa dinâmica dentro do que Cláudia Sepulveda, Eduardo Mortimer e Charbel El-Hani (2013) nomearam “perspectiva variacional”, isso é, que considera o papel de diferentes gerações de uma espécie sendo expostas a pressões seletivas e com muitos indivíduos morrendo nesse processo e apenas alguns poucos se mostrando aptos a sobreviver.

Também pode-se notar, na análise dos dados, que as dinâmicas propostas conseguiram provocar os alunos a perceber e descrever a ciência como empreendimento coletivo e com conhecimentos construídos ao longo de um processo complexo, trabalhoso e contextualizado mesmo que esses alunos não tivessem essa visão de ciência inicialmente.

Analisando-se as respostas dos alunos ao descreverem suas concepções sobre natureza da ciência, percebeu-se também que a escolha do episódio histórico foi pertinente e que os alunos puderam buscar argumentos na história da ciência para defender seus argumentos a respeito de como a ciência funciona – principal proposta de Douglas Allchin (2013) e Don Metz (2013), que foi incorporada a este trabalho.

Ao longo da análise dos resultados, percebeu-se que as práticas desenvolvidas em sala de aula ainda requerem refinamento e, particularmente, é necessário pensar em práticas que permitam aos alunos aplicarem o conceito de seleção natural, e não apenas descrevê-lo. Também se percebeu, com a análise das questões sobre natureza da ciência, que novas investigações podem ser feitas, tomando-se por base as atividades aplicadas durante a sequência didática e as provas escolares dos alunos, que foram elaboradas a partir do que os alunos estavam estudando. Essas investigações futuras têm o potencial para revelar mais informações sobre como os alunos passaram a pensar sobre o funcionamento da ciência.

Todas as análises desenvolvidas neste trabalho foram essencialmente qualitativas, como é pertinente à análise de sequências didáticas e de pesquisa-ação. Apesar de dados qualitativos não serem imediatamente generalizáveis, deve-se lembrar que seu agrupamento dentro de pesquisas que compartilham um mesmo perfil etnográfico favorecem a elaboração de uma “generalização situada”, processo de transformar dados gerados em um contexto em evidências que podem ser transferidas para e testadas em outros contextos que compartilham traços comuns em seu perfil etnográfico ou que apresentam questões semelhantes às aquelas que motivaram a intervenção registrada (Simons *et al.*, 2003, pp. 359-360). Espera-se, então, que este trabalho possa se somar àqueles que foram citados ao longo desta pesquisa para dar força ao desenvolvimento de generalizações situadas a respeito do ensino por meio de história da ciência, do ensino de evolução e do ensino de natureza da ciência. Espera-se também que o relato deste estudo possa auxiliar alunos e professores a se informarem a respeito da história do desenvolvimento das primeiras ideias sobre evolução biológica e a respeito da natureza da ciência.

Dá-se, agora, início a uma nova agenda de pesquisa, focada na produção de artigos curtos, que possam ter maior alcance entre professores e pesquisadores, focada em mais uma etapa de refinamento das metodologias didáticas apresentadas e focada também na divulgação dessas metodologias em meios acessíveis a professores e alunos. Assume-se, portanto, o compromisso de fornecer um retorno à comunidade de educadores e educandos como forma de agradecimento pelos investimentos realizados a fim de que esta pesquisa pudesse chegar ao seu fim.

Referências Bibliográficas Primárias⁴²

BABBAGE, Charles. **The Ninth Bridgewater Treatise**. London: John Murray, 1837. Disponível em: <<https://archive.org/details/ninthbridgewatai00babb>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

BARLOW, Nora (ed.). **The autobiography of Charles Darwin 1809-1882. With the original omissions restored**. Edited and with appendix and notes by his grand-daughter Nora Barlow. London: Collins, 1958. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

_____. Darwin's ornithological notes, with introduction, notes and appendix by the editor. **Bulletin of the British Museum (Natural History)**. Historical Series, vol. 2, n 7, p. 201-278, 1963. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 27 dez. 2017.

BUFFON, Georges-Louis Leclerc. **Histoire naturelle générale et particulière: avec la description du Cabinet du Roy**. Tome Quatrième. Chez F. Dufart. Paris: Imprimerie Royale, 1753. Disponível em : <<http://www.buffon.cnrs.fr/>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

_____. **Les époque de la nature**. Paris: Imprimerie Royale, 1778. Disponível em : <<http://www.buffon.cnrs.fr/>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

CHAMBERS, Robert. Vestiges of the Natural History of Creation. In: _____. **Vestiges of the Natural History of Creation and other evolutionary writings** - with a new introduction by James A. Secord and a new index by Brian W. Ogilvie. Chicago: The University of Chicago Press, [1844] 1994.

_____. Explanations: a sequel to "Vestiges of the natural history of creation". In: _____. **Vestiges of the Natural History of Creation and other evolutionary writings** - with a new introduction by James A. Secord and a new index by Brian W. Ogilvie. Chicago: The University of Chicago Press, [1844] 1994.

CHAMBERS, William. **Memoir of Robert Chambers with autobiographic reminiscences of William Chambers**. New York: Scribner, Armstrong, and Co, 1872. Disponível em: <<https://archive.org/details/memoirofrobertch00cham>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

CUVIER, Georges. Discours prononcé par le citoyen cuvier à l'ouverture du cours d'anatomie compare qu'il fait ai Muséum National d'Histoire Naturelle, pour le citoyen Mertrud. **Magasin Encyclopédique ou Journal des Sciences des Lettre et des Arts**, vol. 5, p. 145-155, 1795. Disponível em: <<http://gallica.bnf.fr>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

⁴² De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

- _____. **Mémoire sur les espèces d'éléphants vivantes et fossiles. In: Mémoire de L'Institut National des sciences et arts. Sciences mathématiques et physiques.** Tome 2: Mémoires de la classe des sciences mathématiques et physiques. Paris: Baudoin, 1796. pp. 1-22. Disponível em: <<http://gallica.bnf.fr>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- _____. Extrait d'un ouvrage sur les espèces de quadrupèdes. Dont on a trouvé les ossements dans l'intérieur de la terre, adresse aux savans et aux amateurs des sciences, par G. Cuvier, membre de l'Institut, professeur au Collège de France et à l'École Centrale du Panthéon, etc. **Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts**, vol. 52, p. 253-267, 1801. Disponível em: <<http://gallica.bnf.fr>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- _____. **Essay on the theory of the Earth.** 3rd ed. Edinburgh: Blackwood, 1817a. 348 p. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- _____. **Le règne animal distribué d'après son organisation.** Paris: Déterville, 1817b. 540p. Disponível em: <<http://www.biodiversitylibrary.org>>; acesso em: 29 set. 2017.
- DARWIN CORRESPONDENCE PROJECT. Database maintained by Cambridge University Library. Disponível em: <<http://www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-XXX⁴³>>. Acesso em: 21 fev. 2018.
- DARWIN, Charles R. **Notebook B.** Transcribed by Kees Rookmaaker. 1837-1838. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 18 jul. 2016.
- _____. **Notebook C.** Transcribed by Kees Rookmaaker. 1838a. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 ago. 2016.
- _____. **Notebook D.** Transcribed by Kees Rookmaaker. 1838b. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 18 jul. 2016.
- _____. **Notebook E.** Transcribed by Kees Rookmaaker. 1838-9. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 ago. 2016
- _____. **Birds, part 3 of the zoology of the voyage of H.M.S. Beagle, by John Gould, edited and superintended by Charles Darwin.** London: Smith Elder and Co., 1841. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 fev. 2018
- _____. **Questions and experiments.** Transcribed by Kees Rookmaaker. 1839-1844. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

⁴³ Digitar número da carta que se deseja acessar.

- _____. **A monograph of the sub-class Cirripedia, with figures of all the species:** The Lepadidæ; or, pedunculated cirripedes.. London: The Ray Society, 1851a. Volume 1. 400 p. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 01 jan. 2018.
- _____. **A monograph on the fossil Lepadidæ, or pedunculated cirripedes of Great Britain.** London: Palæontographical Society, 1851b. 88 p. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>; Acesso em: 01 jan. 2018.
- _____. **A monograph on the fossil Balanidæ and Verrucidæ of Great Britain.** London: Palæontographical Society, 1854a. 44 p. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>; Acesso em: 01 jan. 2018.
- _____. **A monograph on the sub-class Cirripedia, with figures of all the species:** The Balanidæ, (or sessile cirripedes); the Verrucidæ, etc. etc. etc. London: The Ray Society, 1854b. Volume 2. 640 p. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 01 jan. 2018.
- _____. **On the origin of species by means of natural selection,** or the preservation of favoured races in the struggle for life. London: John Murray, 1859. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- _____. **A origem das espécies:** A origem das espécies por meio da seleção natural ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida. Tradução: Carlos Duarte e Anna Duarte. São Paulo: Martin Claret, [1872] 2014. 572 p.
- DARWIN, Charles R.; WALLACE, Alfred R. On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection. **Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London**, Zoology, vol. 3, p. 45-50, 1858. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- DARWIN, Erasmus. **Zoonomia;** or the laws of organic life. London: J. Johnson, 1794. 586 p. Vol. 1. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- _____. **The Temple of Nature:** or, the origin of society: a poem, with philosophical notes. London: J. Johnson, 1803. 171 p. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- DARWIN, Francis (ed.) **The foundations of The origin of species:** two essays written in 1842 and 1844. Cambridge: Cambridge University Press, 1909. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 02 jan. 2018.
- _____. **The life and letters of Charles Darwin, including an autobiographical chapter.** London: John Murray, 1887. Volume 2. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

- _____. **The autobiography of Charles Darwin, from the life and letters of Charles Darwin, by Charles Darwin** [ebook]. Project Gutenberg, 2013. Disponible em: <<https://www.gutenberg.org>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- FITZROY, Robert. **Narrative of the surveying voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the years 1826 and 1836**, describing their examination of the southern shores of South America, and the Beagle's circumnavigation of the globe. Proceedings of the second expedition, 1831-36, under the command of Captain Robert Fitz-Roy, R.N. London: Henry Colburn, 1839. 698 p. Disponible em: <<https://archive.org/details/narrativeofsurve02king>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- GOULD, John. Mr. Darwin's collection of birds, a series of *Ground Finches*. **Proceedings of the Zoological Society of London**, vol. 5, pp. 4-7, 1837. Disponible em: <<https://www.biodiversitylibrary.org>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- HERBERT, Sandra (ed.). The red notebook of Charles Darwin. **Bulletin of the British Museum (Natural History) Historical Series**, vol. 7, p. 1-164, 1980. Disponible em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 02 jan. 2018.
- LACÉPÈDE, Bernard-Germain-Étienne de. **Histoire naturelle des quadrupèdes ovipares et des serpents**. Paris: Académie Royale des sciences, 1788. Disponible em: <<http://www.gallica.bnf.fr>>. Acesso em : 24 fev. 2018.
- _____. **Histoire naturelle des poissons**. Paris: Hez Plassan, 1799-1803. Disponible em: <<http://www.gallica.bnf.fr>>. Acesso em : 24 fev. 2018.
- LAMARCK, Jean-Baptiste Pierre Antoine Monet de. **Flore Française** ou description succincte de toutes les plantes qui croissant naturellement en France, disposé selon une nouvelle méthode d'analyse, et à laquelle on a joint la citation de leurs vertus les moins équivoques en Médecine, et de leur utilité dans les arts. Paris: Imprimerie Royale, 1778. 3 volumes. Disponible em: <www.lamarck.cnrs.fr>. Acesso em: 29 set. 2017.
- _____. **Considérations**. En faveur du chevalier de la Marck, ancien officier au Régiment de Beaujolais, de l'Académie Royale des Sciences, Botaniste du Roi, attaché au Cabinet d'Histoire Naturelle. Paris: Imprimerie de Gueffier, 1789. Disponible em: <www.lamarck.cnrs.fr>. Acesso em: 29 set. 2017.
- _____. **Système des animaux sans vertèbres**. Ou tableau général des classes, des ordres et des genres de ces animaux Présentant leurs caractères essentiels et leur distribution, d'après la considération de leurs rapports naturels et de leur organisation, et suivant l'arrangement établi dans les galeries du Muséum d'Hist. Naturelle, parmi leurs dépouilles conservées ; Précédé du discours d'ouverture du Cours de Zoologie, donné dans le Muséum National d'Histoire Naturelle l'an 8 de la République. Paris: Chez l'Auteur et Déterville, 1801. 432 p. Disponible em: <www.lamarck.cnrs.fr>. Acesso em: 29 set. 2017.

- _____. **Hydrogéologie**, ou Recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre; sur les causes de l'existence du bassin des mers, de son déplacement et de son transport successif sur les différens points de la surface du globe ; enfin sur les changemens que les corps vivans exercent sur la nature et l'état de cette surface. Paris: Chez l'Auteur, Agasse et Maillard, 1802a. 268 p. Disponível em: <www.lamarck.cnrs.fr>. Acesso em: 29 set. 2017.
- _____. **Recherches sur l'organisation des corps vivans** et particulièrement sur son origine, sur la cause de ses développemens et des progrès de sa composition, et sur celle qui, tendant continuellement à la détruire dans chaque individu, amène nécessairement sa mort; précédé du discours d'ouverture du cours de zoologie, donné dans le Muséum national d'Histoire Naturelle. Paris: Maillard, 1802b. 216 p. Disponível em: <www.lamarck.cnrs.fr>. Acesso em: 29 set. 2017.
- _____. **Philosophie zoologique** ou des considerations relatives à l'histoire naturelle des animaux; à la diversité de leus organization et des faculté qu'ils en obtiennent; aux cause physiques qui maintiennent en eux la vie et donnent lieu aux movemens qu'ils exécutent; enfin, à celles qui produisent les unes le sentiment, et les autres l'intelligence de ceux qui en sont doués - tome premier. Paris: J. B. Ballière. [1809] 1830. 471 p. Disponível em: <www.lamarck.cnrs.fr>. Acesso em: 29 set. 2017.
- LAVOISIER, Antoine Laurant. **Traité elementaire de chimie**: presente dans um ordre nouveaux et d'après les découvertes modernes; avec figures. Tome Premier. Paris: chez Couchet, 1789. 382 p. Disponível em: <<http://www.gallica.bnf.fr>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- PALEY, William. **Natural Theology**: or, evidences of the existence and attributes of the deity, collected from the appearances of nature. Boston: Gould, Kendall and Lincoln, [1802] 1837. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk/>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- RAY, John. **The wisdom of God manifested in the works of creation**. 11th edition. London: W. Innis, [1691] 1743. Disponível em: <<https://archive.org/details/wisdomofgodmanif00ray>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- WALLACE, Alfred Russel. On the law which has regulated the introduction of new species. **Annals and Magazine of Natural History, including Zoology, Botany, and Geology**, vol. 16, Sep., p. 184-196, 1855. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- WEITZEL, Vern. **The jornal of Syms Covington**: assistant to Charles Darwin esq. on the second Voyage of the HMS Beagle, December 1831-September 1836 [online] Australian Science Archives Project, 1998. Disponível em: <<http://www.asap.unimelb.edu.au/bsparcs/covingto/contents.htm#contents>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

WHEWELL, William. **The Philosophy of the Inductive Sciences, Founded Upon Their History**. 2. ed. London: John W. Parker. 2 vols. Disponível em: <<https://archive.org/details/philosophyofindu01whewrich>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

Referências Bibliográficas Secundárias⁴⁴

- ABD-EL-KHALICK, Fouad. **The influence of history of science courses on students' conceptions of nature of science**. 1999. Thesis (doctoral degree in Philosophy). Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA, 1999. 547 p.
- _____. Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. **Science & Education**, vol. 22, n. 9, p. 2087-2107, 2012.
- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.
- AKERSON, Valerie L.; ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 37, n. 4, p. 295-317, 2000.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é História da Ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- ALLCHIN, Douglas. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Education**, vol. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.
- _____. Toward clarity on whole science and KNOWS. **Science Education**, vol. 96, p. 904-926, 2012.
- _____. **Teaching the Nature of Science: Perspectives and Resources**. Saint Paul: SHiPS Education Press, 2013.
- _____. Celebrando os erros de Darwin. Tradução: Eduardo Cortez. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, vol. 9, n. 3, p. 5-12, set. 2015. Versão online disponível em <<http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-09-n3-Set-2015.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2017.
- ALLCHIN, Douglas; ANDERSEN, Hanne Møller; NIELSEN, Keld. Complementary approaches to teaching nature of science: integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. **Science Education**, vol. 98, n. 3, p. 461-486, 2014.
- ALVES, Alda Judith. O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. **Caderno de Pesquisa**, vol. 77, p. 53-61, 1991.
- ANDÚRIZ-BRAVO, Agustín. Teaching the Nature of Science with Scientific Narratives. **Interchange**, vol. 45, n. 3-4, p. 167-184, 2014.

⁴⁴ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

- ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison. **Obstáculos à compreensão do pensamento evolutivo: análise em livros didáticos de biologia do Ensino Médio**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas). Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. 78 f.
- ARBER, Agnes. A seventeenth-century naturalist: John Ray. *Isis*, vol. 34, n. 4, p. 319-324, 1943.
- AZEVEDO, Maicon J. C. **Explicações teleológicas no ensino de evolução: um estudo sobre os saberes mobilizados por professores de Biologia**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação). Rio de Janeiro, Niterói, Universidade Federal Fluminense, 2013. 100 f.
- BANGE, Raphaël; CORSI, Pietro. **Chronologie de la vie de Jean-Baptiste Lamarck**. 2008. Disponível em: <<http://www.lamarck.cnrs.fr/chronologie/>>. Acesso em: 12 jul. 2017.
- BARAB, Sasha A.; SADLER, Troy D.; HEISELT, Conan; DANIEL, Hickey; ZUIKER, Steven. Erratum to: relating narrative, inquiry, and inscriptions: supporting consequential play. *Journal of Science, Education and Technology*, vol. 19, p. 387-407, 2010.
- BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. Tradução: Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BEAVER, Donald de B. Reflections on Scientific Collaboration (and its Study): Past, Present, and Future. In: Berlin Workshop on Scientometrics and Informetrics, Collaboration in Science and in Technology, 2., 2000, Berlin. **Proceedings...** Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung, 2000.
- BELLINI, Luzia Marta. Avaliação do conceito de evolução nos livros didáticos. **Estudos em avaliação educacional**, v. 17, n. 33, p. 7-28, 2006.
- BIZZO, Nelio. **Darwin: do telhado das Américas à teoria da evolução**. São Paulo: Odysseus, 2002. 229 p.
- _____. Ciências Biológicas. In: DPEM/SEB/MEC. **Orientações Curriculares do Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEB, 2004
- _____. Prefácio. In: DARWIN, Charles. **A Origem das Espécies**. Tradução: Carlos Duarte e Anna Duarte. São Paulo: Martins Claret, 2014. Pp. 7-13.
- BLANCKAERT, Claude. History and semantics of origins: between nature, artifice and beliefs (18th-19th century). **BIO Web of Conferences**, vol. 4, p. 00003-1 – 00003-14. Disponível em: <http://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2015/01/bioconf-origins2015_00003.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2016.

- BORDALEJO, Barbara. **Introduction to the Online Variorum of Darwin's Origin of Species** [online]. 2009. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk/Variorum/Introduction.html>>. Acesso em: 03 jan. 2018.
- BOWLER, Peter J. **The Eclipse of Darwinism: anti-Darwinian evolutionary theories in the decades around 1900**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983.
- BRASIL. Ministério da Educação: Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília: Ministério da Educação: Secretaria de Educação Fundamental, 1998a.
- BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto: Conselho Nacional de Educação. **Parecer nº CEB 04/98**. Brasília: Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação, 1998b.
- _____. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.
- _____. Ministério da Educação: Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação: Secretaria de Educação Básica, 2006.
- _____. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 jun. 2013. Disponível em: <<http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2016.
- _____. Ministério da Educação: Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes curriculares nacionais da Educação Básica**. Brasília: Ministério da Educação: Secretaria de Educação Básica, 2013.
- _____. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base**. Brasília: Ministério da Educação, 2017.
- BROWNE, Janet. **“A Origem das Espécies” de Charles Darwin: uma biografia**. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2007.
- _____. **Charles Darwin: viajando**. Tradução Gerson Yamagami. São Paulo: Aracati / Editora UNESP, 2011. 776 p.
- BUCK, Gayle A.; AKERSON, Valerie L.; QUIGLEY, Cassie F.; WILAND, Ingrid F. Exploring the potential of using reflective instruction through contextualized and decontextualized approaches to teach first-grade African American girls

- the practices of science. **Electronic Journal of Science Education**, vol. 18, n. 6, p. 1-21, 2014.
- BULLOCK, Seth. What can we learn from the first evolutionary simulation model? *In*: BEDAU, Mark A.; MCCASKILL, John S.; PACKARD, Norman H.; RASMUSSEN, Steen (eds.). **Artificial life VII: Proceedings of the seventh international conference on artificial life**. Massachussets: the MIT Press, 2000. pp. 477-787.
- _____. Charles Babbage and the emeergence of the autmated reason. *In*: HUSBANDS, Phil; HOLLAND, Owen; WHEELER, Michael. **The mechanical mind in history**. Massachussets: The MIT Press, 2008. pp. 19-39.
- BURKHARDT, Richard W. Lamarck, evolution, and the politics of science. **Journal of the History of Biology**, vol. 3, n. 2, p. 275-298, 1970.
- _____. The Inspiration of Lamarck's Belief in Evolution. **Journal of the History of Biology**, vol. 5, n. 2, pp. 413-438, 1972.
- CAPONI, Gustavo. **Breve introducción al pensamiento de Buffon**. San Juan de Díos: Universidad Autónoma Metropolitana, 2010. 167 p.
- CARMO, Viviane Arruda do. **Episódios de história da biologia e o ensino de ciências: as contribuições de Alfred Russel Wallace**. 2011. Tese (doutorado em educação). Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2011. 199 f.
- CARMO, Viviane Arruda do; BIZZO, Nelio; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Alfred Russel Wallace e o princípio de seleção natural. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 209-233, 2009.
- CARNEIRO, Ana Paula Netto. **A evolução biológica aos olhos de professores não-licenciados**. 2004. 137 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2004.
- CARVALHO, Regina Simplício. Lavoisier e a sistematização da nomenclatura química. **Scientiae Studia**, vol. 10, n. 4, p. 759-771, 2012.
- CAVALCANTI, Eduardo Luiz Dias; SOARES, Márlon Herbert F. Barbosa. O uso do jogo de roles (roleplaying game) como estratégia de discussão e avaliação do conhecimento químico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, vol. 8, n. 1 p. 255-282, 2009.
- COLP Jr., Ralph. The relationship of Charles Darwin to the ideas of his grandfather, Dr. Erasmus Darwin. **Biography**, vol. 9, n. 1, p. 1-24, 1986.
- CRUZ, Dulce Márcia; ALBUQUERQUE, Rafael Marques; AZEVEDO, Victor de Abreu. RPG Maker como ferramenta pedagógica: produzindo jogos eletrônicos com crianças. *In*: **Anais do Computer on the Beach**, Florianópolis: UNIVALI, 2011. pp. 139-148.

- DeCOITO, Isha; DiGIUSEPPE, Maurice; FRIEDBERG, Jeremy. *The History of Biology™: examining a digital game for improving students' nature of science conceptions and promoting student engagement in Biology*. In: **International Conference: the Future of Education - 2nd edition**. Florença, Itália, 2012.
- DESMOND, Adrian; MOORE, James. **Darwin: A vida de um evolucionista atormentado**. Tradução: Cynthia Azevedo. 6^a ed. São Paulo: Geração Editorial, 2009. 797 p.
- DINIZ, Ryntia Ryan Pereira. **Uma trilogia perfeita: RPG Maker XP, educação e adolescentes**. Dissertação (Especialização em Informática). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2006.
- DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**, vol. 35, n. 3, p. 125-129, 1973.
- DONDA, Pedrita Fernanda. **Erasmus Darwin e os seres vivos: as concepções de 'evolução' e herança**. 2015. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2015. 47 f.
- DURBANO, João Paulo di Monaco. **Investigação de concepções de alunos de ciências biológicas do IB/USP acerca da natureza da ciência**. 2012. Dissertação (mestrado em ciências biológicas: biologia/genética – área de concentração: estratégias de ensino e aprendizagem em biologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012. 190 f.
- EGERTON, Frank N. Darwin's early reading of Lamarck. **Isis**, vol. 67, n. 3, p. 452-456, 1976.
- EL-HANI, Charbel Niño; BIZZO, Nelio. Formas de construtivismo: teoria da mudança conceitual e construtivismo conceitual. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. **II ENPEC**. Valinhos: ABRAPEC, 1999.
- ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. **Whig and Tory: historical political party, England**. London, 2017. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/Whig-Party-England>>. Acesso em: 21 fev. 2018.
- ENGEL, Guido Irineu. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191, 2000.
- FARIA, Felipe. **Georges Cuvier: do estudo dos fósseis à paleontologia**. São Paulo: Associação Filosófica Scientia Studia: Editora 34, 2012. 272 p.
- FORATO, Thaís Cyrino de Mello. A Filosofia Mística e a Doutrina Newtoniana: uma discussão historiográfica. **Alexandria**, vol. 1, n. 3, p. 29-53, 2008.
- _____. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. Tese (Doutorado em Educação). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2009.

- FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 28, n. 1, pp. 27-59, 2011.
- FORD, Brian J. Shining through the centuries : John Ray's Life and Legacy – a report of the meeting "John Ray and his successors". **Notes and records of the Royal Society of London**, vol. 54, n. 1, p. 5-22, 2000.
- FRANCE. Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. **De la maternelle au baccalauréat : l'enseignement des Science** [online]. 2016. Disponível em: <<http://www.education.gouv.fr/cid54197/l-enseignement-des-sciences.html>>. Acesso em: 31 mai. 2016.
- FRIEDMAN, Ami. **Alfred Russel Wallace & the origin of new species**. Minneapolis, MN: SHiPS Resource Center, 2010. Disponível em: <<http://www1.umn.tc.edu/ships/modules/biol/wallace.htm>>. Acesso em: 03 mai. 2016.
- FYFE, Aileen. The reception of William Paley's *Natural Theology* in the University of Cambridge. **British Journal for the History of Science**, vol. 30, n. 106, p. 321-335, 1997.
- GARFINKLE, Norton. Science and Religion in England, 1790-1800: The Critical Response to the Work of Erasmus Darwin. **Journal of the History of Ideas**, vol. 16, n. 3, p. 376-388, 1955.
- GODOY, Norton. Darwin: a evolução de um homem. **Super Interessante**, vol. 8, 1988. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/comportamento/darwin-a-evolucao-de-um-homem>>. Acesso em: 17 jul. 2016.
- GREGÓRIO, Gregório de Sordi. **Do avatar ao sujeito: Transicionalidade e indentificação no espaço virtual**. Dissertação (Mestrado em Psicologia Clínica e Cultura). Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2014.
- GROW, Hein van e STEINHEIMER, Frank D. Charles Darwin's lost Cinereous harrier found in the collection of the National Museum of Natural History Leiden. **Zoologische Mededelingen**, vol. 82, p. 595-598, 2008.
- GILLESPIE, Neal C. Natural History, Natural Theology, and Social Order: John Ray and the "Newtonian ideology". **Journal of History of Biology**, vol 20, n. 1, pp. 1-49, 1987.
- GRENBLY, M. O. **The anti-Jacobin novel: British conservatism and the French Revolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa qualitativa *versus* pesquisa quantitativa: esta é a questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, vol. 22, n. 2, p. 201-210, 2006.

- HENNESSY, Kathryn. **Smithsonian Natural History**: The ultimate visual guide to everything on Earth. London, New York, Melbourne, Minuich, and Delhi: DK Publishing, 2010. 646 p.
- HILTON III, John; WILEY, David; STEIN, Jared; JOHNSON, Aaron. The four 'R's of openness and ALMS analysis: frameworks for open educational resources. **Open Learning**, vol. 25, n. 1, p. 37-44, 2010.
- IBRAHIM, Amer; VELA, Francisco Luis Gutiérrez; RODRIGUEZ, Patrícia Paderewski; SÁNCHEZ, José Luís González; ZEA, Natália Padilla. Educational video game design based on educational playability: a comprehensive and integrated literature review. **International Journal on Advances in Intelligent Systems**, vol. 5, n. 3-4, p. 400-414, 2012.
- JENSEN, Gerda Maisa. **Charles Darwin (1809-1882) e os peixes elétricos**: história e natureza da ciência no ensino de ciências na Educação de Jovens e Adultos. 2016. 344 f. Tese (Doutorado em Ciências – Área de concentração: Biologia – Genética) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2016.
- KAMPOURAKIS, Kostas. The “general aspects” conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 53, n. 5, p. 667-682, 2016.
- KAMPOURAKIS, Kostas; MCCOMAS, William F. Charles Darwin and evolution: Illustrating human aspects of science. **Science and Education**, vol. 19, p. 637-654, 2009.
- KAMPOURAKIS, Kostas; GRIPIOTIS, Christos. Darwinism in context: an interdisciplinary, highly contextualized course on nature of science. **Perspectives in Science**, vol. 5, p. 25-35, 2015.
- KEYNES, Richard Darwin (ed). **Charles Darwin's Beagle Diary**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S.; RIZAKI, A. A. (Eds.). **Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom**. Rotterdam, Boston e Taipei: Sense Publishers, 2011.
- KORS, Alan Charles. **Naturalism and unbelief in France, 1650-1729**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 327 p.
- KRÜGER, Fernando Luiz ; CRUZ, Dulce Márcia. Os jogos eletrônicos de simulação e a criança. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA COMUNICAÇÃO, 24., 2001, Campo Grande. **Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação**, Campo Grande: Universidade Regional de Blumenau, 2001.
- KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução : Beatriz Viana Boeira e Nelson Boeira. São Paulo : Perspectiva, [1962] 1998.
- LAISSUS, Yves. **Buffon: la nature en majesté**. Paris: Gallimard, 2007. 128 p.

- LATOUR, Bruno. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. Tradução: Ivone C. Benedetti. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2011. 460 p.
- LAWSON, Kristan. **Darwin and evolution for kids: his life and ideas with 21 activities**. Chicago: Chicago Review Press, 2003. 146 p.
- LEDERMAN, Norman G.; ABD-EL-KHALICK, Fouad; BELL, Randy L.; Schwartz, Renée S. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.
- LEFF, David. HMS Beagle Voyage. In: **About Darwin**, 2008. Disponível em: <<http://www.aboutdarwin.com/voyage/voyage01.html>>. Acesso em: 16 jul. 2016.
- LEITH, Alex P.; RATAN, Rabindra A.; WOHN, Dhongee Yvette. The (de-)evolution of evolution games: a content analysis of the representation of evolution through natural selection in digital games. **Journal of Science, Education and Technology**, vol. 25, n. 4, p. 655-664, 2016.
- LINNAEUS, Carolus. **Systema Naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis**. Cura Jo. Frid. Gmelin. 13. ed. Lipsiae: Impensis Georg. Emanuel Beer, 1788. Tomus I, 6 vols.
- LOSH, Susan Carol. Stereotypes about scientists over time among US adults: 1938 and 2001. **Public Understanding of Science**, vol. 19, n. 3, p. 372-382, 2010.
- MACGONIGAL, Jane. **Reality is Broken: why games make us better and how they can change the world**. London: Penguin Books, 2011.
- MACHADO, Liliane dos Santos; MORAES, Ronei Marcos; NUNES, Fátima de Lourdes dos Santos; COSTA, Rosa Maria Esteves Moreira. Serious games baseados em realidade virtual para educação médica. **Revista brasileira de educação médica**, vol. 33, n. 2, p. 254-262, 2011.
- MAROQUIO, Vanusa Stefanon; PAIVA, Maria Auxiliadora Vilela; FONSECA, Camila de oliveira. Sequências didáticas como recurso pedagógico na formação continuada de professores. In: ENCONTRO CAPIXABA DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 10., 2015, Vitória. **Anais Sociedade Brasileira de Educação Matemática**. Vitória: Sociedade Brasileira de Educação Matemática, 2015.
- MARQUARDT, Karl Heinz. **Anatomy of the ship - HMS Beagle: Survey ship extraordinary**. London: Conway Maritime Press, 1997. 128 p.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. **A Teoria da Progressão dos animais de Lamarck**. 1993. 403 f. Dissertação (Mestrado em Genética) - Unicamp, Campinas, 1993.

- _____. O papel da geração espontânea na teoria da progressão dos animais de J. B. Lamarck. **Revista da SBHC**, n. 11, p. 57-65, 1994.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Seria possível uma história da ciência totalmente neutra, sem qualquer aspecto whig? **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, vol. 4, n. 3, p. 4-8, set., 2010. Versão online disponível em: <<http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-04-n3-Set-2009.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2010.
- _____. A origem dos pombos domésticos na estratégia argumentativa de Charles Darwin. **Filosofia e História da Biologia**, vol. 7, n. 1, p. 91-116, 2012.
- _____. **Aristóteles e o estudo dos seres vivos**. 2006. Disponível em: <<http://www.ghctc.usp.br/server/PDF/ram-Aristoteles-livro.PDF>>. Acesso em: 21 ago. 2016.
- MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual e a reaproximação. Tradução: Cláudia Mesquita de Andrade **Caderno catarinense de ensino de física**, vol. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- _____. History, philosophy, and Science teaching: the new engagement. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, vol. 10, n. 1, forword, 2009.
- _____. (ed.) **International Handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014.
- MAYR, Ernst. **The growth of biological thought**. London/Harvard: Harvard University Press, 1982. 974 p.
- MCCOMAS, William F. The discovery & nature of evolution by natural selection: misconceptions & lessons from history of science. **The American biology teacher**, vol. 59, n. 8, p. 492-500, 1997.
- MCNEIL, Maureen. **Under the banner of science: Erasmus Darwin and his age**. Manchester: Manchester University Press, 1987. 315 p.
- MÉHEUT, Martine. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: BOERSMA, Kerst; GOEDHART, Martin; JONG, Onno De; EIJKELHOF, Harrie (eds.). **Research and quality of science education**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005. p. 195-207.
- MÉHEUT, Martine; PSILLOS, Dimitris. Teaching-Learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, vol. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.
- MENDES, Cláudio Lúcio. **Jogos eletrônicos: diversão, poder e subjetivação**. Campinas: Papirus, 2006.

- METZ, Don. Story interrupted: using history and philosophy of science in everyday instruction. *In: SILVA, Cibelle Celestino; PRESTES, Maria Elice Brzezinski. **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas.** São Carlos: Tipographia, 2013. Pp. 389-396.*
- MICKEL, Clarence E. John Ray: indefatigable student of nature. **Annual Review of Entomology**, vol. 18, p. 1-17, 1973.
- MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 1, n. 1, pp. 20-39, 1996.
- MORTIMER, Eduardo Fleury.; SCOTT, Phill. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, vol. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.
- MOURA, Juliana Santana. Jogos eletrônicos e professores: primeiras aproximações. *In: SEMINÁRIO JOGOS ELETRÔNICOS, EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO: CONSTRUINDO NOVAS TRILHAS*, 4., 2008, Salvador. **Trabalhos completos...** Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008. Disponível em: <<http://www.comunidadesvirtuais.pro.br/seminario4/trab/jm.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- NASCIMENTO, Lia Midori Meyer; GUIMARÃES, Maria Daniela Martins; EL-HANI, Charbel Niño. Construção e avaliação de sequências didáticas para o ensino de biologia: uma revisão crítica da literatura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 7., 2009, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A framework for K-12 science education**: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington: The National Academic Press, 2012.
- NESTERIUK, Sérgio. Reflexões acerca do videogame: algumas de suas aplicações e potencialidades. *In: SANTAELLA, Lucia; FEITOZA, Mirna (Org.). **Mapa do Jogo**: a diversidade cultural dos games.* São Paulo: Cengage Learning, 2009. Pp. 23-36.
- NYHART, Lynn. Historiography of the History of Science. *In: LIGHTMAN, Bernard (ed.). **A Companion to the History of Science.*** Chichester, UK: Wiley Blackwell, 2016. Pp. 7-22.
- OLIVEIRA, Graciela da Silva. **Aceitação/rejeição da evolução biológica: atitudes de alunos da educação básica.** 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2009.
- OLIVEIRA, Graciela da Silva; BIZZO, Nelio. Ciência, religião e evolução biológica: atitudes de estudantes do Ensino Médio. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 7., 2009, Florianópolis. **Arquivos ENPEC.** Florianópolis: Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível

em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viipec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/325.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

OLIVEIRA, Graciela da Silva; BIZZO, Nelio; RIOS Helenadja Motta. Ensino-aprendizagem da evolução biológica nas pesquisas acadêmicas brasileiras. *In*: BIZZO, Nelio; PELLEGRINI, Giuseppe (orgs.). **Os jovens e a ciência**. Curitiba: CRV, 2013.

OLIVEIRA NETO, Antônio Alvez; BENITE-RIBEIRO, Sandra Aparecida. Um modelo de Role-Playing Game (RPG) para o ensino dos processos da digestão. **Revista eletrônica do curso de pedagogia do campos Jataí – UFG**, vol. 2, n. 3, p. 1-15, 2012.

PASSETI, Gabriel. Entre a viagem, a escrita e a publicação do relato, um mar de interesses. Argentina, Chile e Nova Zelândia comparados pelo britânico Robert FitzRoy na década de 1830. **História (São Paulo)**, vol. 32, n. 1, pp. 304-326, 2013.

PAVEZ, Ana María; SANFUENTES, Olaya. Ilustraciones de Raquel Echenique. **Darwin: um viaje al fin del mundo**. Santiago: Amanuta, 2008.

PEREIRA, Miller Rodrigo. **História da ciência no ensino médio: experimentos de Lazzaro Spallanzani sobre reprodução animal**. 2014. Tese (doutorado em ciências – Área: Biologia/Genética). Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2014. 303 f.

PORTER, Duncan M. On the road to the Origin with Darwin, Hooker and Grey. **Journal of the History of Biology**, vol. 26, n. 1, p. 1-38, 1993.

PRESTES, Maria Elice Brzezinski. **A biologia experimental de Lazzaro Spallanzani (1729-1799)**. 2003. 393 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2003.

_____. A arte de observar e fazer experiências. *In*: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena. (Eds.). **O saber fazer e seus muitos saberes: experimentos, experiências e experimentações**. São Paulo: EDUC, 2005. pp. 227-251.

_____. O whiggismo proposto por Herbert Butterfield. *Boletim de História e Filosofia da Biologia* 4 (3): 2-4, set. 2010. Versão online disponível em: <<http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-04-n3-Set-2009.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

PRESTES, Maria Elice Brzezinski; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, vol. 4, p. 1-16, 2009.

PRESTES, Maria Elice Brzezinski; SANO, Paulo Takeo. Innovative Proposals to Introduce History and Philosophy of Biology in Biology Education (Panel). In

- ISHPSSB & ABFHIB MEETING, 2007, São Paulo. **Book of abstracts**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007. p. 136-137.
- POLIT, Denise F.; HUNGLER, Bernadette P. **Fundamentos da pesquisa em enfermagem**. Tradução: Regina Machado Garcez. 3ª ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.
- QUATREFAGES, Armand de. **Charles Darwin et ses précurseurs français**. Paris: Germer Baillière. 1870. Disponível em <<http://gallica.bng.fr>>. Acesso em: 03 jan. 2018.
- RASPAIL, François-Vincent. Nécrologie: Parallèle. **Annales des sciences d'observations**, vol. 3, p. 159-160, 1830.
- REES, Paul A. The evolution of textbook misconceptions about Darwin. **Journal of Biological Education**, vol. 41, n. 2, p. 53-55, 2007.
- REGNER, Anna Carolina Krebs Pereira. **A natureza teleológica do princípio darwiniano de seleção natural: a articulação do metafísico na *Origem das Espécies***. 1995. Tese (doutorado em educação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 1995. 521 f.
- RICHARDS, Robert J. Charles Darwin: Cosmopolitan thinker. In: Robert J. Richards & Michael Ruse, **Debating Darwin**. Chicago and London: The University of Chicago, 2016. Pp. 83-150.
- RICHARDS, Robert J.; RUSE, Michael. **Debating Darwin**. Chicago and London: The University of Chicago, 2016.
- ROGET, Peter Mark. **The Bridgewater Treatises on the power, wisdom, and goodness of God as manifested in the creation**. Treatise V: animal and vegetable physiology, considered with reference to natural theology. Vol. 1. Philadelphia: Carey, Lea e Blanchard, 1836.
- RUDGE, David W.; HOWE, Eric M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science & Education**, vol. 18, p. 561-580, 2009.
- RUSE, Michael. Charles Darwin: Great Briton. In: Robert J. Richards & Michael Ruse, **Debating Darwin**. Chicago and London: The University of Chicago, 2016. Pp. 1-81.
- SALGADO-NETO, Geraldo; SALGADO, Aquiléa. A experiência civilizatória de Jeremy Button. **Revista de Ciências Humanas**, vol. 44, n. 1, p. 249-259, 2010.
- SATO, Adriana Kei Ohashi. Do mundo real ao mundo ficcional: a imersão no jogo. In: SANTAELLA, Lucia; FEITOZA, Mirna. **Mapa do jogo: a diversidade cultural dos games**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. p. 37-48.

- SANTOS, Adailton Ferreira dos; OLIOSI, Elisa Cristina. A importância do ensino de ciências da natureza integrado à história da ciência e à filosofia da ciência: uma abordagem contextual. **Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade, Salvador**, vol. 22, n. 39, p. 195-204, 2013.
- SCHIENBINGER, Londa. Why Mammals are Called Mammals: Gender Politics in Eighteenth-Century Natural History. **The American Historical Review**, vol. 98, n. 2, p. 382-411, 1993.
- SECORD, James A. Edinburgh Lamarckians: Robert Jameson and Robert E. Grant. **Journal of the History of Biology**, vol. 24, n. 1, p. 1-18, 1991.
- _____. Introduction. In: CHAMBERS, Robert. **Vestiges of the Natural History of Creation and other evolutionary writings** - with a new introduction by James A. Secord and a new index by Brian W. Ogilvie. Chicago: The University of Chicago Press, 1994. Pp. vii-xlv.
- SEPULVEDA, Claudia; MORTIMER, Eduardo Fleury; EL-HANI, Charbel Niño. Construção de um perfil conceitual para adaptação: Implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. **Investigações em Ensino de Ciências**, vol. 18, p. 439-479, 2013.
- SHAPIN, Steven. The invisible technician. **American Scientist**, vol. 77, p. 554-563, 1989.
- SHAPIRO, Adam R. That William Paley raised scientific questions about biological origins that were eventually answered by Charles Darwin. In: Ronald L. Numbers & Kostas Kampourakis (eds.). **Newton's apple and other myths about science**. Cambridge, Massachuts and London: Harvard University Press, 2015. pp. 67-73
- SILVA, Cibele Celestino; MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & educação**, vol. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.
- SILVA, M. L. M.; PADILHA, M. P. C. S.; SOARES, M. C.; OLIVEIRA, G. C.; SOUZA, M. I. M.; BARBOSA, J. S. O jardim de Mendel: um método lúdico para o ensino de genética. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, 9., 2013, Natal. **IX CONGIC**. Natal: Instituto Feredal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013, pp. 2005-2011.
- SILVA, Tatiana Tavares da. **Darwin na sala de aula: replicação dos experimentos históricos para auxiliar a compreensão da teoria evolutiva**. 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Área de concentração: Ensino de Biologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2013.
- SILVA, Thais Dutra; CARDOSO, Fernanda Serpa; RODRIGUES, Carlos Rangel; LIBERTO, Maria Izabel; CURRIÉ, Maulori; SANTOS, Marcos André Vannier dos; CASTRO, Helena Carla. Jogos virtuais no ensino: usando a dengue co-

mo modelo. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, vol. 1, n. 2, p. 58-71, 2008.

SIMONS, Helen; KUSHNER, Saville; JONES, Keith; JAMES, David. From evidence-based practice to practice-based evidence: the idea of situated generalization. **Research Papers in Education**, vol. 18, n. 4, p. 347-364, 2003.

SLOAN, Phillip. The Concept of Evolution to 1872. In: Edward N. Zalta (ed.), **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. 2014. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/evolution-to-1872/>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

SMITH, C. U. M.; ARNOTT, R (eds.). **The genius of Erasmus Darwin**. Hampshire and Burlington: Ashgate, 2005. 427 p.

SOLINAS, Marco. **From Aristotle's teleology to Darwin's genealogy**. Translated by James Douglas. Hampshire: Palgrave MacMillan, 2015.

SOUZA, Rosa Andrea Lopes de. **A viagem de Alfred Russel Wallace ao Brasil: a aplicação de história da ciência no ensino de biologia**. 2014. 375 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Área de concentração: Ensino de Biologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2014.

SQUIRE, Kurt. Video Games in Education. **International Journal of Intellingece, Games & Simulation**, vol. 2, n. 1, p. 49-62, 2003.

STONE, Aristotelian and Scholasticism in early modern philosophy. In: NADLER, Steven. (ed.) **A companion to early modern phylosophy**. Oxford: Backwell, 2002.

TANAKA, Yasuko; HAGANO, Koichi; KUNO, Tomoyasu; NAGASHIMA, Kazushige. Pattern formation of crystals in storm glass. **Journal of Crystal Growth**, vol. 310, n. 10, p. 2668-2672, 2008.

TAXINI, Camila L.; PUGA, Cintia C. I.; SILVA, Caio S. F.; OLIVEIRA, R. R. Proposta de uma sequência didática para o ensino do tema “estações do ano” no ensino fundamental. **Revista Ensaio – Belo Horizonte**, vol. 14, n. 1, p. 81-97. 2012.

THE LUNAR SOCIETY. **The original Lunar Society**. 2016. Disponível em: <<http://lunarsociety.org.uk/about/the-original-lunar-society/>>. acesso em: 03 jul. 2016.

THE ROYAL SOCIETY. **List of fellows of the Royal Society: 1660-2007** – A complete list of all fellows and foreign members since the foundation of the Society. London: The Royal Society: Library and Information Services, 2007. Disponível em: <https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/about-us/fellowship/Fellows1660-2007.pdf>. acesso em: 03 jul. 2016.

- _____. **Full list of all past winners of the Royal Medal** [online]. 2018. Disponível em: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dsunM9ukGLgaW3HdG9cvJ_QKd7pWjGI0qi_fCb1ROD4/pubhtml?gid=1640032608&single=true>. Acesso em: 01 jan. 2018.
- THOMPSON, Keith. H.M.S. Beagle, 1820-1870. **American Scientist**, vol. 102, n. 3, p. 218, 2014.
- TIDON, Rosana; LEWONTIN, Richard. C. Teaching evolutionary biology. **Genetics and Molecular Biology**, vol. 27, n. 1, p. 124-131, 2004.
- TIDON, Rosana; VIEIRA, Eli. O ensino da evolução biológica: um desafio para o século XXI. **Revista eletrônica de jornalismo científico** [online], vol. 107, 2009. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=45&id=535&tipo=1>>. Acesso em: 12 fev. 2018.
- TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Tradução Lólio Lourenço de Oliveira. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.
- TROVE. **Syms Covington (1813-1861)** [online]. Caberra: National Library of Australia, 2008. Disponível em <<http://nla.gov.au/nla.party-514069>>. Acesso em: 14 abr. 2015.
- UNITED KINGDOM. Department of Education. **The National Curriculum in England: Framework document**. Manchester: Department of Education, 2014.
- VINTURI, Erik Flavio; MELO, Suzane da Silva; ABRAHÃO, Ana Luiza; VITORINO, Deise Alves; VECCHI, Rodrigo de Oliveira; PETAGNA, Manuela; VIEIRA, Patrícia; SCARPA, Daniela Lopes; GHILARDI-LOPES, Natalia Pirani. Ensino por meio de investigação científica: sequência didática “A caixa de pandora” aplicada por alunos do PIBID-Biologia da UFABC na E. E. Amaral Wagner (Santo André – SP). In: **IV ENEBIO e II EREBIO da Regional 4**, Goiânia, Goiás, 2012.
- VON HUPSCH-LONZEN, Johann Wilhem Karl Adolph von Honvlez-Ardenn, Barão. Dissertação Física sobre a antiga União e Separação do Velho e do Novo Mundos, e sobre o Povoamento das Índias Ocidentais. **Scientiae studia**, vol. 1, n. 3, p. 355-377, 2003.
- VORZIMMER, Peter. Darwin, Malthus, and the theory of natural selection. **Journal of the history of ideas**, vol. 30, n. 4, p. 527-542, 1969.
- WILSON, Janice. **Erasmus Darwin's writings**. Lichfield: Erasmus Darwin House, 2007. Disponível em: <<http://www.erasmusdarwin.org/collections/library-of-evolution/erasmus-darwins-writings/>>; acesso em: 03 jul. 2016.
- WINKLER, Sean. Darwin's natural selection and the need for a Kuhnian apology. **Revista Portuguesa de Filosofia**, vol. 66, n. 4, p. 919-930, 2010.

- WOOD, Todd Charles. **A creationist review and preliminary analysis of the history, geology, climate, and biology of the Galápagos Islands**. Eugene, OR: Wipf and Stock Publishers, 2005.
- WOODALL, Edward. Charles Darwin. **Transactions of the Shropshire Archaeological and Natural History Society**, vol. 8, p. 1-64, 1884.
- WYHE, John Van (ed.). Darwin's Publications. *In*: _____. **The complete works of Charles Darwin Online**. 2002a. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/vanWyhe_notebooks.html>. Acesso em: 19 jul. 2016.
- _____. Darwin's notebooks and Reading lists. *In*: _____. **The complete works of Charles Darwin Online**. 2002b. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/vanWyhe_notebooks.html>. Acesso em: 19 jul. 2016.
- _____. **The complete works of Charles Darwin Online**. 2002c. Disponível em: <<http://darwin-online.org.uk>>. Acesso em: 27 dez. 2017.
- ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução: Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.
- ZAMPERO, Andréia de Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. As atividades de investigação no ensino de ciências na perspectiva da aprendizagem significativa. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, vol. 5, n. 2, p. 12-19, 2010.
- ZUCON, Maria Helena; SOBRAL, Anderson da Conceição Santos; DANTAS, Mário André Tindades. Escala geológica do tempo e processos de extinções. *In*: ZUCON, Maria Helena; SOBRAL, Anderson da Conceição Santos; TEODÓSIO, Cleodon; DANTAS, Mário André Tindades; VIEIRA, Fabiana Silva. **Paleontologia geral**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2011. 101 p.

Anexos

Anexo A – Análise de “Uma ideia perigosa?” segundo diretrizes propostas por Ibrahim e colaboradores (2012)

FERRAMENTA (continua)			Uma Ideia Perigosa? (continua)	
Categoria		Diretrizes	Cumprimento	Comentários
Objetivos do Jogo (continua)	Objetivos relacionados à jogabilidade (continua)	Facilitar o processo de aprendizagem.	OK	
		Providenciar ao jogador conhecimento claro do conteúdo educacional, facilitando o alcance dos objetivos.	OK	
		Conteúdo apropriado para os objetivos de aprendizagem predeterminados e para o público alvo.	OK	
		O jogo permite que o aluno se envolva em tarefas desafiadoras, não em atividades triviais.	OK	O desafio é dado pela necessidade de o aluno-jogador se localizar na cidade virtual e localizar os personagens relacionados à sua missão. Há um sistema de atribuição de experiência no jogo que pode ser explorado pelo professor, estabelecendo um ganho de experiência mínima como um desafio inicial.
		O final do jogo deve ser inesperado, a fim de aguçar a curiosidade do jogador.	OK	
		Jogo fácil de aprender, mas	X	Não há grandes dificul-

Objetivos do jogo (continuação)	Objetivos relacionados à jogabilidade (continuação)	difícil de dominar.		dades no jogo, a não ser que o professor imponha algum desafio extre.
		O objetivo principal deve ser reforçar as habilidades do jogador e melhorar sua experiência.	OK	
	Objetivos educacionais	Prover pensamento crítico e analítico.	OK	
		Fazer introdução sistemática de conteúdo educacional.	OK	
		Avaliação e reconhecimento de conhecimentos prévios.	OK	Dicas podem ser acessadas pelos alunos, indicando locais onde deva ir por meio de direções cardiais. Esse é um conhecimento prévio que o aluno deve ter ou algo que possa ser trabalhado de maneira interdisciplinar.
		O objetivo é dividido em sub-objetivos, a fim de escalonar a aprendizagem. Os sub-objetivos são apresentados gradualmente para conduzir os alunos para a aprendizagem.	OK	
		Conteúdo educacional válido e confiável, creditável, acurado, relevante, equilibrado e livre de vieses.	OK	
Equilíbrio entre objetivos de aprendizagem e diversão (continua)	O jogo deve incluir um fator de diversão e motivar os alunos a alcançarem a aprendizagem pretendida.	OK		

Equilíbrio entre objetivos de aprendizagem e diversão (continuação)	O elemento educacional deve ser claro, mas não dominante.	OK	
	Todos os conteúdos devem ser condescendentes em termos de direcionar o jogador a um mesmo objetivo.	OK	
	Todos os passos de jogo devem conter componentes de diversão e educação.	OK	
	Manter consistência durante todos os passos do jogo, assegurando uma eficaz visualização dos componentes a serem usados durante a atividade.	OK	
	Incluir diferentes maneiras de apresentar os componentes de aprendizagem durante o jogo.	X	A aprendizagem de conceitos científicos é realizada por meio de diálogos, trechos de obras originais e placas a serem lidos.
	O equilíbrio entre diversão e aprendizagem deve refletir, tanto quanto possível, os estados do jogador (emocional, psicológico, etc.).	OK	Essa diretriz será cumprida contanto que o aluno leia os textos. Há a opção de que o aluno passe o texto apenas rapidamente diante de seus olhos; nesse caso, a jogabilidade refletirá seu estado, mas não a aprendizagem.
Desafios do jogo (continua)	Diferentes configurações de dificuldade, para desafiar jogadores com diferentes expertises.	X	Não é possível configurar a dificuldade do jogo na ferramenta; apenas o professor pode fazer isso, impondo objetivos adicio-

			nais.
Desafios do jogo (continuação)	O desafio deve ser produzido tanto da variedade de tarefas quanto da dificuldade das tarefas.	OK	
	O jogo deve escalonar habilidades de jogador e conhecimento do estudante.	OK	
	Desafios e níveis de dificuldade devem ser compatíveis com a experiência do jogador em jogos solitários ou multijogadores.	X	O jogo pode ser aplicado tanto a jogadores experientes quanto a não-jogadores, mas não é possível regular níveis de dificuldade.
	Desafios devem ser balanceados e divertidos, com os aspectos educacionais baseados no progresso do jogo.	OK	
Feedback (resposta às atitudes do jogador) (continua)	O feedback deve ser apresentado ao jogador após um certo número de falhas, com o objetivo de ajudá-lo a entender por que está falhando.	OK	
	O jogo deve ser capaz de estimular o jogador a saber mais sobre o mecanismo de funcionamento do sistema por meio de feedback claro.	OK	
	Providenciar diferentes tipos de feedback (auditivo, visual, etc.).	OK	
	Feedback deve ser imedia-	OK	

Feedback (resposta às atitudes do jogador) (continuação)	to, com o objetivo de atingir os objetivos do jogo.		
	Feedback deve guiar o jogador pelo ambiente de jogo, enfatizando elementos-chave e oferecendo assistência ao longo do caminho.	OK	
	O feedback deve possibilitar ao jogador monitorar o seu domínio de habilidade e de informação.	OK	
	O jogo deve, primeiramente, familiarizar o jogador com o completo objetivo educacional para que, então, se inicie a aprendizagem.	X	A versão do jogo que foi aplicada deixa parte dessa contextualização inicial, ainda, a encargo do professor.
	Prover feedback para todas as atitudes do jogador, situações enfrentadas (nível completado, jogo finalizado) e status (pontuação, ranking entre jogadores, vitória, derrota).	OK	
Interatividade (continua)	O jogo deve ter instruções claras e simples.	OK	
	O jogo deve responder de diferentes maneiras a soluções corretas e incorretas.	OK	
	Permitir fácil reversão das ações. Se o jogador cometer um erro simples, deve ser dada a oportunidade de reverter sua ação, amenos que isso afete o equilíbrio do jogo negativamente.	OK	

Interatividade (continuação)	Introduzir elementos de surpresa positiva ou eventos especiais em localizações estratégicas.	OK	
	Introduzir atividades divertidas que não sejam passivas.	OK	
	Elementos educacionais devem estar relacionados aos elementos de diversão em uma mesma tela do jogo.	OK	
Adaptação (continua)	O jogo deve ser fácil de se modificar e adaptar (nível de dificuldade, nível de som, música de fundo, controles, etc.).	OK	A única excessão é o nível de dificuldade.
	O conteúdo educacional deve consistir de módulos flexíveis o suficiente para serem prontamente utilizados durante o jogo sem grandes esforços adaptativos.	X	O jogo é curto (feito para ser jogado em cerca de meia hora), e não pode ser iniciado de qualquer ponto, sem que o aluno-jogador tenha visto o que foi programado como conteúdo prévio.
	O conteúdo educacional deve ser capaz de atender aos diferentes estilos de aprendizagem e motivações.	X	Os diferentes estilos de aprendizagem são trabalhados no momento pós-jogo; dentro do jogo, a aprendizagem é obtida por meio da leitura dos textos que surgem ao dialogar com diferentes personagens.

Adaptação (continuação)	A lógica para usar um determinado estilo educacional deve ser determinada pelas necessidades do jogador, dos passos a serem dados no jogo ou da situação de jogo.	OK	A lógica de aprendizagem segue a reconstituição histórica da época apresentada no jogo.
	O conteúdo do jogo deve ser adaptado à velocidade de avanço do jogador.	OK	
	O jogador não deve ser sobrecarregado pelas informações que o jogo oferece. Deve-se prover maneiras para se compartimentalizar essas informações.	Ok	
Controle (continua)	Não é necessário que o jogador aprenda novas técnicas de controle durante o jogo.	OK	
	O jogador deve estar no comando (ao menos no comando de seu avatar).	OK	
	O controle deve ser intuitivo e mapeado para o controle da plataforma.	OK	
	Não apresentar eventos incontroláveis aleatórios ou sequências tediosas e difíceis de fornecimento de informações.	OK	
	A interação deve determinar como os estudantes observam e inferem as regras do sistema, que também são	OK	

Controle (continuação)	as regras de aprendizagem.		
Ética	O jogo não deve ensinar nada que, se posto em prática, possa apresentar perigo à vida.	OK	
	Evitar conteúdo que tenha impacto no desenvolvimento físico, moral ou mental do indivíduo.	OK	
	Evitar mensagens que transmitam conteúdo agressivamente nacionalista, etnocêntrico, xenofóbico, racista ou de natureza intolerante.	OK	
	Ênfase na aquisição e manutenção de competências durante o tempo de jogo.	OK	
Realismo (continua)	Criar situações possíveis de acontecer no mundo real ou simulações pertinentes à dinâmica de jogo.	OK	
	Relacionar o conteúdo aprendido à simulação de mundo real.	OK	
	A simulação do mundo real deve auxiliar o aluno a alcançar os objetivos do jogo.	OK	
	Fazer a história de maneira realista, apresentando uma sequência plausível de eventos dentro do jogo.	OK	
Realismo (continuação)			
Recompensas (continua)	A recompensa deve ser	OK	

(bonificações extras não necessárias para o desenvolvimento do jogo)	apropriada e importante na motivação do jogador.		
	A recompensa deve ser apropriada ao estágio educacional em que o jogador se encontra.	OK	
	A recompensa deve ser relacionada ao progresso que o jogador realiza em termos de conquistar aprendizagem no espaço de jogo.	OK	
	A recompensa deve ser comensurada com as capacidades do jogador.	OK	
	A recompensa deve ser apresentada em tempo apropriado para engajar o jogador.	OK	
	Recompensas podem ser dadas várias vezes durante uma etapa do jogo se necessário.	OK	
	O jogo deve apresentar variedade em suas recompensas.	OK	
Estruturação (continua)	Assegurar consistência estética entre elementos de diversão e aprendizagem, para guiar o jogador através de seus objetivos e tarefas	OK	
	Cada item tem sua atividade distinta da atividade dos demais.	OK	

Estruturação (continuação)	Assegurar que o jogador possa facilmente reconhecer a estrutura do ambiente de jogo sem precisar de ajuda adicional.	OK	
	A interface deve ter um design que ofereça tarefas definidas. A sequência de ações que o jogador está realizando deve ser organizada em um grupo conceitual de subtarefas menores. O cumprimento de cada tarefa deve ser reconhecido, a fim de que o jogador entenda que aquela etapa foi finalizada.	OK	
	Os elementos do jogo devem ser fácil e rapidamente entendidos sem o requerimento de ajuda adicional.	OK	
	A história de jogo e os elementos da interface devem ser apropriados e compatíveis.	OK	
	Cada jogador deve ser capaz de distinguir quais são seus itens em um ambiente multijogador.	OK	O ambiente não é multijogador, mas a localização dos itens que pertencem ao jogador é facilitada.
Conhecimentos do jogador (continua)	Usar experiências prévias do jogador mais frequentemente que obrigá-lo a adquirir novos conhecimentos.	OK	

Conhecimentos do jogador (continuação)	Dar ao jogador a oportunidade de correlacionar seu conhecimento a situações da vida real dentro do ambiente de jogo.	OK	
	Cada etapa do jogo deve acrescentar algo novo ao jogador em termos de conhecimento .	OK	
	O jogador deve ser encorajado a refletir sobre a nova informação adquirida e integrá-la ao seu conhecimento já existente.	OK	
Porcentagem de itens presentes no jogo		90,7%	
Número de categorias completas presentes		7 / 12	
Número de categorias completas ausentes		0 / 12	

Anexo B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Universidade de São Paulo

Instituto de Biociências

Departamento de Genética e Biologia Evolutiva

Laboratório de História da Biologia e Ensino

Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

ESTUDO: Descobrindo a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência

Responsável: Professor Eduardo Cortez (mestrando)

Orientadora: Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes

Senhores pais ou responsáveis,

Seu (Sua) filho(a) está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. A participação é **voluntária**. A qualquer momento é possível haver desistência de participar e retirar o consentimento. A recusa em participar não trará nenhum prejuízo às relações com a escola, ao ganho pedagógico do(a) aluno(a) ou à relação entre o(a) aluno(a) e o pesquisador ou demais pessoas envolvidas neste projeto. Abaixo estão todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Se sentir necessidade, os senhores poderão contatar o professor-pesquisador em qualquer etapa da pesquisa (mesmo após seu encerramento) para maiores esclarecimentos.

Objetivos: O principal objetivo desse estudo é analisar as dinâmicas de ensino e aprendizagem promovidas pela sequência didática “Descobrindo a seleção natural”, que faz parte da dissertação de mestrado “Descobrindo a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência”. É registrado na literatura específica a respeito do ensino de evolução o quanto esse assunto pode ser difícil para os alunos, sujeitos aprendizagens ingênuas a respeito da construção de conhecimento científico de Charles Darwin (1809-1882) e seus colaboradores. Com a aplicação de uma estratégia investigativa de ensino pautada na história da ciência, espera-se promover uma aprendizagem significativa não apenas do conceito de “seleção natural”, mas também de aspectos de natureza da ciência, especialmente seu caráter coletivo.

Procedimento: A participação na pesquisa consistirá em responder a questionários sobre conceitos associados a evolução, questionários sobre aspectos de natureza da ciência e participar das atividades propostas na forma de sequência didática, cedendo direitos de som e imagem ao professor-pesquisador.

Riscos: Não existem riscos previsíveis relacionados à participação. A participação na pesquisa não tem relação com as avaliações da disciplina de Ciências.

Benefícios: Ao aceitar participar dessa pesquisa, o aluno estará contribuindo para a avaliação e análise de uma estratégia alternativa para o ensino de ciências. De forma mais

específica, estará participando de um processo de validação e consolidação de um conjunto de aulas que envolverão os alunos ativamente e de maneira reflexiva no pensamento científico e resolução de problemas de importantes descobertas históricas.

Direitos de som e imagem: Ao se voluntariar para participação na pesquisa, são concedidos ao professor-pesquisador os direitos de som e imagem coletados durante o processo de pesquisa. É compromisso do professor-pesquisador manter em sigilo os **nomes** dos alunos e da escola durante eventos de divulgação dos resultados: apresentações ou publicações com fins científicos ou educacionais.

Custo e pagamento: Participar dessa pesquisa não implicará em nenhum custo ao aluno ou à família e, como voluntários, nenhum valor de dinheiro será recebido pelos participantes.

Uma cópia deste documento lhes será enviada via circular da escola.

Pesquisadores responsáveis: Eduardo Cortez, Maria Elice Brzezinski Prestes

Laboratório de História da Biologia e Ensino. Dpto de Genética e Biologia Evolutiva. Instituto de Biologia. Universidade de São Paulo.

Rua do Matão, 277, sala 317A, Cidade Universitária, São Paulo, SP – CEP 05508-090

Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências. Instituto de Física. Universidade de São Paulo.

Rua do Matão, Travessa R, n. 187, Cidade Universitária, São Paulo, SP – CEP 05508-090

E-mails: eduardo.cortez@sebsa.com.br, eprestes@ib.usp.br

Eu, portador do documento de identificação () RG; () CIE; () outro:_____, número,

(Nome do responsável)

responsável por, portador do documento de identificação () RG; () CIE; () outro:_____, número,

(Nome do aluno)

....., concordo de livre e espontânea vontade com a participação deste(a) aluno(a) no estudo “*Descobrimos a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência*”, cedendo ao professor-pesquisador direitos de sons e imagens produzidos no processo de pesquisa e esclareço que obtive todas informações necessárias.

São Paulo, de de 2017.

Assinatura:

Anexo C – Conteúdo disponíveis *online*

O conteúdo *online* pode ser encontrado no link https://drive.google.com/open?id=1jsF8-AK4WD92XncZVPyKQ2_GGHxLZAJf e apresenta a seguinte organização interna de pastas e arquivos principais:

Sequência Didática – Descobrimos a seleção natural:

- > Sequência Didática 2016
 - > Atividades 2016
 - > 00 Pré-teste 2016.doc
 - > 01 Breve história da transmutação - Leituras para os alunos - v3.docx
 - > 02 Lamarck - Guia do professor.docx
 - > 02 Lamarck - Texto para os alunos.docx
 - > 03 Discussão do Jogo - Guia do professor.docx
 - > 04 Pós-teste 2016.doc
 - > Slides 2016
 - > 01 Breve história da Transmutação - v3.pptx
 - > 02 Lamarck.pptx
 - > 04 Coletando Evidências_v2.pptx
 - > 05 Publicar.pptx
 - > Uma Ideia Perigosa 2016
 - > README.txt
 - > Game.rpgproject
 - > [Outros arquivos necessários para que o arquivo “Game.rpgproject seja aberto e editado no software RPG Maker MV]
- > Sequência Didática 2017
 - > Atividades 2017
 - > 00 Pré-teste 2017.doc
 - > 01 Breve história da Transmutação - Atividade 1.doc

- > 01 Breve história da Transmutação - Guia do professor.docx
- > 01 Breve história da Transmutação - Leituras para os alunos - v4.docx
- > 02 Lamarck - Guia do Professor - v2.docx
- > 02 Lamarck - Questões para os alunos.doc
- > 02 Lamarck - Texto para alunos - v2.docx
- > 03 - Discussão do Jogo - Guia do Professor - v2.docx
- > 04 Coletando evidências - Guia do Professor - v2.docx
- > 04 Coletando evidências - Questões para os alunos.doc
- > 05 Quando Publicar - Guia do professor v2.docx
- > 06 Pós-teste 2017.doc
- > Slides 2017
 - > 01 Breve história da Transmutação - v4
 - > 02 Lamarck - v2
 - > 04 Coletando Evidências_v4
 - > 05 Publicar
- > Uma Ideia Perigosa 2017
 - > README.txt
 - > Game.rpgproject
 - > [Outros arquivos necessários para que o arquivo “Game.rpgproject seja aberto e editado no software RPG Maker MV]

As numerações apresentadas nos arquivos fazem referência à intervenção que está sendo aplicada. Uma vez que a terceira intervenção da sequência didática, que é a aplicação do jogo, não possui apresentação em PowerPoint para acompanhá-la, não há slides iniciando com a numeração “03”.