

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO, INSTITUTO DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA E
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Diana Borges dos Santos

**O papel dos estudos geológicos nas teorias sobre a transmutação
das espécies no século XIX: uma contribuição histórica para o ensino
de evolução**

São Paulo - SP

2022

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO, INSTITUTO DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA E
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Diana Borges dos Santos

**O papel dos estudos geológicos nas teorias sobre a transmutação
das espécies no século XIX: uma contribuição histórica para o ensino
de evolução**

Versão Original

Tese apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Linha de pesquisa: História, Filosofia e Cultura no Ensino de Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Lilian Al-Chueyr Pereira Martins

São Paulo - SP

2022

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

Santos, Diana Borges dos.

O papel dos estudos geológicos nas teorias sobre a transmutação das espécies no século XIX: uma contribuição histórica para o ensino de evolução. São Paulo, 2022.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, São Paulo, 2022.

Orientadora Lilian Al-Chueyr Pereira Martins.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Versão Original.

Unitermos: 1. História da evolução. 2. História da geologia. 3. Educação científica. 4. Lamarck, Jean Baptiste. 5. Darwin, Charles Robert.

USP/IF/SBI-004/2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria José de Santana Santos, que me deu a vida; à minha orientadora de pesquisa Lilian Al-Chueyr Pereira Martins; a professora María Elena Infante-Malachias, que foi a minha orientadora no Mestrado; ao meu esposo Fábio Rodrigues e em especial ao meu amigo Wesley Neves, que foi levado desse mundo cedo demais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à professora Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, que me orientou nessa pesquisa, por sua dedicação e empenho.

À querida María Elena Infante-Malachias, pois sem ela eu não chegaria a essa etapa da minha vida.

À minha mãe, Maria José, que nunca vacila e me ensina com sua história de vida e dedicação que todos os problemas podem ser encarados como simples.

Ao meu esposo Fábio Rodrigues, por estar ao meu lado em todos os momentos.

À minha amada sobrinha, Vitória Emilly, que agora inicia a sua vida acadêmica.

À minha grande amiga Elisabeth Pinheiro, que possui um lugar tão especial em minha vida que nos chamamos de irmãs.

À minha amiga e colega de trabalho Juliana Tavares, por seus conselhos e estímulos.

Agradeço a todos aqueles que me auxiliaram de forma direta ou indireta nesta jornada rumo ao Doutorado.

Por fim, agradeço a Deus que colocou todas essas pessoas na minha vida e me concedeu a oportunidade de realizar esta pesquisa de Doutorado.

RESUMO

SANTOS, Diana Borges dos. **O papel dos estudos geológicos nas teorias sobre a transmutação das espécies no século XIX: uma contribuição histórica para o ensino de evolução.** São Paulo, 2022. Tese (Doutorado e Ensino de Ciências - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências) – Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2022.

O objetivo desta pesquisa na linha História, Filosofia e Cultura no Ensino de Ciências é oferecer uma contribuição histórica para o ensino-aprendizagem de evolução. Esta diz respeito à maneira pela qual a geologia compareceu em duas propostas sobre a transmutação das espécies do século XIX, a saber, a de Jean Baptiste Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e a de Charles Robert Darwin (1809-1882). Geralmente informações sobre esses aspectos não aparecem na parte histórica dos livros-texto de Biologia brasileiros, ao tratar da evolução. Inicialmente a pesquisa histórica abordou dois debates importantes no campo da geologia que faziam parte do contexto em que as teorias dos dois naturalistas estudados foram propostas: vulcanismo *versus* netunismo e catastrofismo *versus* uniformitarismo. A seguir, foram analisadas algumas obras (artigos e livros) em que se encontram as concepções geológicas e paleontológicas de Lamarck e Darwin que constituem o material histórico sobre o assunto. O período estudado abrange de 1800 a 1872. Em um segundo momento, a partir do estudo histórico foi elaborada uma Sequência didática. Esta tese contém uma Introdução e seis capítulos. O Capítulo 1 trata do uso da história da ciência no ensino de ciências. O Capítulo 2 aborda as concepções geológicas encontradas no século XIX e as discussões que estavam ocorrendo no período. O Capítulo 3 discute sobre como a geologia e a paleontologia contribuíram para a teoria sobre a transmutação dos animais de Lamarck e sua posição em relação aos debates que estavam ocorrendo na época. O capítulo 4 se concentra nos estudos geológicos e paleontológicos de Darwin desde o período que antecedeu à viagem do Beagle até a publicação do *Origin of species*, bem como sua posição em relação aos debates que ocorriam na época. O Capítulo 5 apresenta uma Sequência didática elaborada a partir do estudo histórico. O Capítulo 6 procura responder às questões inicialmente colocadas em relação à pesquisa histórica e faz algumas considerações sobre o assunto tratado na tese. O estudo histórico revelou vários Aspectos sobre a Natureza da Ciência. Por exemplo, as discussões presentes nos debates plutonismo *versus* netunismo e catastrofismo *versus* uniformitarismo que ocorreram no final do século XVIII e início do século XIX, mostraram que os cientistas são guiados por evidências; as evidências podem ser interpretadas à luz de diferentes teorias; nem sempre existe acordo na ciência e o empreendimento científico é fruto de um trabalho coletivo. Como nas teorias de Lamarck e Darwin pudemos detectar tanto aspectos do netunismo como do plutonismo, não pudemos atribuir a eles uma posição definida em relação ao debate plutonismo/vulcanismo. Isso mostra também a dificuldade em aplicar rótulos aos cientistas. Os estudos geológicos e paleontológicos tanto de Darwin como de Lamarck tiveram um papel importante na elaboração de suas teorias sobre a transmutação das espécies, especialmente por terem levado a uma visão uniformitarista da natureza compatível com o gradualismo do processo evolutivo. Desse modo, consideramos que vale a pena incluir aspectos geológicos e paleontológicos de suas teorias na parte histórica dos livros-texto sobre a evolução.

Palavras-chave: História da evolução; História da geologia; Educação científica; Lamarck, Jean Baptiste; Darwin, Charles Robert.

ABSTRACT

SANTOS, Diana Borges dos. **The role of geological studies in the species transmutation theories in the 19th century: a historical contribution to the teaching of evolution.** São Paulo, 2022. Tese (Doutorado e Ensino de Ciências - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências) – Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2022.

This research within the line History, Philosophy and Culture in Science Teaching aims to offer a historical contribution to the teaching-learning of evolution. It is related to how geology contributed to the 19th proposals on transmutation from Jean Baptiste Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) and Charles Robert Darwin (1809-1882). In general, these aspects do not appear in the historical part of Biology Brazilian textbooks dealing with evolution. First, we dealt with two debates in geology that occurred at Lamarck's and Darwin's time. They were: plutonism *versus* neptunism and catastrophism *versus* uniformitarianism. Next, we analysed some works (articles and books) containing Lamarck's and Darwin's geological and paleontological conceptions. The period studied ranges from 1800 to 1872. In a second moment, departing from the historical study, we elaborated a Teaching Learning Sequence. This thesis contains an introduction and six chapters. Chapter 1 uses the History of Science in Science Education. Chapter 2 addresses the geological conceptions found in the 19th century and the discussions. Chapter 3 discusses how geology and palaeontology contributed to Lamarck's theory of the transmutation of animals. It also tries to elucidate his position concerning the geological debates taking place. Chapter 4 focuses on Darwin's geological and paleontological studies before and after the Voyage of the Beagle and his attitude related to the geological debates. Chapter 5 presents a Teaching-learning Sequence drawn from historical research. Chapter 6 seeks to answer the questions concerning the historical research initially raised and offers some comments on the subject dealt with in the thesis. The historical study revealed several Features of the Nature of Science. For example, the geological debates showed that pieces of evidence guide scientists. Scientists can interpret evidence in the light of different theories. Sometimes the agreement concerning scientific subjects does not happen. The scientific enterprise is the result of collective work. Since we could detect aspects of both neptunism and plutonism in Lamarck's and Darwin's thoughts, we could not assign them a definite position in this debate. So there are difficulties in applying labels to scientists. Geological and paleontological pieces of evidence played an essential role in Lamarck's and Darwin's theories. They led them to a uniformitarian view of nature compatible with the gradualism of the evolutionary process. Thus, we consider it is worthwhile to include geological and paleontological aspects of their theories in the historical part of the textbooks that deals with evolution.

Keywords: History of evolution; History of geology; Science education; Lamarck, Jean Baptiste; Darwin, Charles Robert.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 - Abraham G. Werner	22
Fig. 2 - Medalha Lazzaro Moro.....	23
Fig. 3 - James Hutton	24
Fig. 4 - John Playfair	25
Fig. 5 - Jean-Baptiste de Lamarck.....	27
Fig. 6 - Falésias de Vache-Noires	27
Fig. 7 - Georges Cuvier	29
Fig. 8 - William Whewell.....	31
Fig. 9 - Charles Lyell.....	32
Fig. 10 - Charles Robert Darwin	35
Fig. 11 - Folha de rosto da terceira edição da obra <i>Flore Française</i>	39
Fig. 12 - Folha de rosto do primeiro volume da <i>Encyclopédie méthodique Botanique</i>	40
Fig. 13 - Folha de rosto do primeiro volume da obra <i>Philosophie zoologique</i>	43
Fig. 14 - Folha de rosto do primeiro volume do tratado <i>Histoire naturelle des animaux sans vertèbres</i>	44
Fig. 15 - Reimpressão da última obra de Lamarck, <i>Système analytique des connaissances positives de l'homme</i>	45
Fig. 16 - Fóssil de um Amonita	47
Fig. 17 - Fóssil de <i>Nautilus pompilius</i>	48
Fig. 18 - Estátua de Lamarck no Museu de História Natural de Paris	51
Fig. 19 - Folha de rosto da sexta edição da obra <i>The origin of species</i>	57
Fig. 20 - <i>HMS Beagle</i>	59
Fig. 19 - Mapa do Arquipélago de Cabo Verde	60
Fig. 22 - St. Jago	61
Fig. 23 - Terremoto na cidade de Concepción no Chile, em 1835.....	62
Fig. 24 - Esqueletos de mastodonte macho (à esquerda) e fêmea (à direita) expostos no Museu de História Natural na Universidade de Michigan.	63
Fig. 25 - Esqueleto de <i>Megatherium</i> exposto no Museu de História Natural de Paris	64
Fig. 26 - Folha de rosto do primeiro volume da obra <i>The structure and distribution of coral reefs</i>	65

Fig. 27 - Diferentes tipos de recifes de coral.....	67
Fig. 28 - Avestruz	70
Fig. 29 - Paleoarte de <i>Archeopteryx</i>	70
Fig. 30 - Paleoarte de <i>Compsognathus</i>	71
Fig. 31 - Weald Valley	72
Fig. 32 - Parallel roads of Glen Roy.....	73
Fig. 33 - Didactical rhombus (Losango didático).....	76
Fig. 34 - Versão simplificada de “A Marcha do Progresso”	78
Fig. 35 - Genealogia do homem, por Ernst Haeckel	79
Fig. 36 - Retratos de Lamarck e Darwin	80
Fig. 37 - Jogo de jogo de tabuleiro. Projeto Darwin vai à escola.....	83
Fig. 38 - Cartas do jogo de tabuleiro. Projeto Darwin vai à escola.....	84

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 1	14
A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS	14
1.1 Introdução	14
1.2 A natureza da ciência ou aspectos da natureza da ciência	15
1.3 A natureza da ciência no Brasil	17
1.4 O ensino de evolução	18
CAPÍTULO 2	20
CONCEPÇÕES GEOLÓGICAS NO SÉCULO XIX	20
2.1 Concepções sobre a formação da crosta terrestre no século XVIII	20
2.2 Concepções sobre a formação da crosta terrestre no século XIX	26
2.3 Algumas considerações.....	36
CAPÍTULO 3	38
LAMARCK, GEOLOGIA E A TRANSMUTAÇÃO DAS ESPÉCIES	38
3.1 Lamarck: Carreira e interesses profissionais	38
3.2 A teoria da progressão dos animais de Lamarck	41
3.3 A geologia e a “paleontologia” de Lamarck	45
3.4 Algumas considerações.....	52
CAPÍTULO 4	54
DARWIN, GEOLOGIA E A TRANSMUTAÇÃO DAS ESPÉCIES	54
4.1 Darwin: Carreira e interesses profissionais.....	54
4.2 Darwin e os estudos geológicos na viagem do Beagle	58
4.3 As concepções geológicas e paleontológicas de Darwin no <i>Origin of species</i>	67
4.4 Algumas considerações.....	72
CAPÍTULO 5	75
A SEQUÊNCIA DIDÁTICA E A SUA VALIDAÇÃO	75
5.1 Referenciais teóricos	75

5.2 A elaboração da sequência didática	77
5.3 A sequência didática: as concepções sobre a transmutação das espécies e o papel da geologia nas teorias de Lamarck e Darwin	78
CAPÍTULO 6.....	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa que se insere na linha História, Filosofia e Cultura no Ensino de Ciências, tem por objetivo oferecer uma contribuição histórica para o ensino-aprendizagem de evolução. Esta diz respeito à maneira pela qual a geologia compareceu em duas propostas sobre a transmutação das espécies do século XIX, a saber, a de Jean Baptiste Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e a de Charles Robert Darwin (1809-1882).

Alguns livros de Biologia destinados ao ensino médio, na parte histórica ao tratar da evolução, abordam as propostas de Lamarck e Darwin. Porém na maioria deles não é feita uma relação entre as ideias sobre a transmutação das espécies desses dois naturalistas e as suas concepções geológicas. Esta relação não só foi relevante em suas propostas originais, mas também o é para que possamos melhor compreendê-las.

Nas últimas décadas, diversos estudos têm defendido que a história e filosofia da ciência podem ser importantes auxiliares no ensino da ciência (MARTINS, R.; MATTHEWS, 1994; MARTINS, 1998; LEDERMAN, 2007; PRESTES & CALDEIRA, 2009; CARMO, 2011). Por outro lado, alguns dentre eles têm constatado que existem dificuldades relacionadas ao ensino-aprendizagem de evolução (BIZZO, 1991; OLIVEIRA & BIZZO, 2015; D' AMBROSIO, BIZZO & SANTOS, 2018).

Desde janeiro de 2014 até o presente momento, ministro aulas de Ciências para o Ensino Fundamental II. No decorrer desses anos pude perceber, de um modo geral, que nos materiais didáticos, o Ensino de Ciências é desvinculado da História da Ciência. A História da Ciência muitas vezes aparece nesses materiais como um apêndice, que traz apenas curiosidades sobre a vida do autor.

Um pequeno apêndice é capaz de despertar o interesse dos estudantes, entretanto, muitas vezes os docentes não estão preparados para responder às questões que eles colocam, já que as universidades, com raras exceções, não oferecem disciplinas sobre a História da Ciência.

Após tomar contato com alguns trabalhos sobre a história da ciência e também sobre sua aplicação ao ensino, interessei-me por ambos os assuntos. Enquanto docente, constateei dificuldades no ensino-aprendizagem de evolução. Conversando com minha orientadora, decidimos tratar desse assunto.

Inicialmente a pesquisa histórica abordou dois debates importantes no campo da geologia que faziam parte do contexto em que as teorias dos dois autores estudados foram propostas: plutonismo *versus* netunismo e catastrofismo *versus* uniformitarismo. A seguir,

foram analisadas algumas obras (artigos e livros) em que se encontram as concepções geológicas de Lamarck e Darwin que constituem o material histórico sobre o assunto. O período estudado abrange de 1800 a 1872. Contudo, em alguns momentos, voltamos um pouco no tempo para recuperar alguns aspectos importantes.

Em relação à parte histórica, a pesquisa procurou responder às seguintes perguntas:

- a) Quais eram as posições que podiam ser encontradas sobre a formação das rochas e superfície terrestre no final do século XVIII e no século XIX?
- b) O que estava em discussão no debate entre netunistas e vulcanistas? Quais eram seus principais argumentos? Quais foram seus principais representantes?
- c) Quais eram as concepções e principais argumentos dos catastrofistas e uniformitaristas?
- d) Qual era a posição adotada por Lamarck em relação as discussões netunismo *versus* vulcanismo e catastrofismo *versus* uniformitarismo?
- e) Como as concepções sobre a formação das rochas e da superfície terrestre se relacionam com a teoria “evolutiva” de Lamarck?
- f) Qual era a posição adotada por Darwin em relação aos debates acima mencionados?
- g) Como as concepções evolutivas de Darwin se relacionam com os conhecimentos geológicos de sua época?

No que diz respeito à metodologia adotada no estudo histórico, foram analisadas principalmente fontes secundárias, mas também algumas fontes primárias. Como fontes secundárias, foram utilizadas, por exemplo, BOWLER, 1989; GERSTNER, 1968; RUPKE, 1994; HUGGET, 1989; RUDWICK, 1970; MARTINS & BAPTISTA, 2007; MARTINS, 2007; OLDROYD, 1996, dentre outros que constam na seção Referências bibliográficas deste trabalho. Como fontes primárias, utilizamos principalmente *Hydrogéologie* de Lamarck e a sexta edição do *Origin of species* de Darwin.

A análise dessas fontes não se restringiu somente a descrição das contribuições dos principais autores, indo além, com o propósito de oferecer explicações e discutir cada contribuição dentro de seu contexto científico (MARTINS, 2005).

Estudos históricos como o que desenvolvemos em nossa pesquisa, podem mostrar Aspectos da Natureza da Ciência contribuindo para que se forme uma visão mais adequada sobre a construção do pensamento científico possibilitando uma melhor compreensão de hipóteses, teorias, modelos, conceitos ou controvérsias científicas (BIZZO, 1991; DASCAL,

1994; MATTHEWS, 1994; MARTINS, 1998b; MARTINS & BRITO, 2006; LEDERMAN, 2007; PRESTES & CALDEIRA, 2009).

Com relação à metodologia da pesquisa em ensino, a intenção foi elaborar uma sequência didática sobre as teorias “evolutivas” do século XIX e suas relações com os estudos sobre as rochas e superfície da Terra, focando nas contribuições de Lamarck e Darwin. A sequência procurou contemplar não apenas a dimensão pedagógica, mas também a dimensão epistêmica considerando o processo de elaboração, métodos e validação do conhecimento científico, conforme propõem Martine Méheut & Psillos (2005). Também utilizamos como referencial teórico, Antoni Zabala (1998). Nesse sentido, a parte histórica que será utilizada na sequência didática mostrará vários aspectos sobre a natureza da ciência (MATHEWS, 1992; PÉREZ *et al.*, 2001; LEDERMAN, 2007; ALLCHIN, 2012), em uma abordagem inclusiva (MATTHEWS, 1994).

Esta tese contém esta Introdução e seis capítulos. O Capítulo 1 trata da utilização da história da ciência no ensino de ciências. O Capítulo 2 aborda as concepções geológicas encontradas no século XIX e as discussões que estavam ocorrendo no período. O Capítulo 3 discute sobre como a geologia e a paleontologia contribuíram para a teoria sobre a transmutação dos animais de Lamarck e sua posição em relação aos debates que estavam ocorrendo na época. O capítulo 4 se concentra nos estudos geológicos e paleontológicos de Darwin desde o período que antecedeu à viagem do Beagle até a publicação do *Origin of species*, bem como sua posição em relação aos debates que ocorriam na época. O Capítulo 5 apresenta uma Sequência didática elaborada a partir do estudo histórico. O Capítulo 6 procura responder às questões inicialmente colocadas em relação à pesquisa histórica e faz algumas considerações sobre o assunto tratado na tese.

CAPÍTULO 1

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Neste capítulo trataremos da utilização da História da Ciência no Ensino de Ciências. Abordaremos uma das possibilidades que é a exploração de Aspectos da Natureza da Ciência (FOS¹). Comentaremos também sobre o ensino de evolução, suas dificuldades e sugeriremos um modo de contorná-las ou ao menos minimizá-las dentro desta perspectiva.

1.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Michael Matthews, internacionalmente se reconhece a existência de problemas em relação à educação científica. Em suas palavras:

O ensino ortodoxo, técnico, não contextualizado falha em engajar os estudantes ou promover o conhecimento e a apreciação da ciência pela população. Está bem documentada a existência de uma crise na ciência contemporânea da educação científica, evidenciada pelo abandono das aulas da ciência da educação tanto pelos professores como pelos estudantes, e cifras assustadoramente altas do analfabetismo em ciência no mundo ocidental. Isso levou a repensar os currículos nacionais e introduzir reformas nas políticas de educação científica em todo o mundo. (MATTHEWS, 2015, p. 7)

O conhecimento da ciência, segundo Matthews, requer um conhecimento dos fatos científicos, leis, teorias que são produtos da ciência. Também abrange o conhecimento dos processos da ciência, os modos sociais, técnicos e intelectuais pelos quais a ciência desenvolve e testa suas afirmações sobre o conhecimento (MATTHEWS, 2015, p. 6). Além disso, a ciência é uma atividade humana envolvendo aspectos cognitivos, sociais, comerciais, culturais, políticos, estruturais, éticos, financeiros, psicológicos etc. Todos esses aspectos são importantes para os estudantes da ciência (MATTHEWS, 2015, p. 388).

Nesse sentido, nas últimas décadas, surgiram muitos estudos e propostas para utilizar a história da ciência como um auxiliar no ensino de ciências. Desde que utilizada de modo adequado, na medida certa, na proporção certa, ela pode contribuir para uma visão mais

¹ *Features of the Nature of Science.*

adequada do empreendimento científico, do processo de formação de conceitos, teorias, modelos, além de tornar o conteúdo científico mais atraente para o aluno. (MARTINS, 1998, p. 245; BRITO & MARTINS, 2006) bem como mostrar as relações entre ciência e sociedade. Além disso, a história, a filosofia e a sociologia da ciência podem humanizar as ciências fazendo com que as aulas de ciências se tornem mais desafiadoras e reflexivas, estimulando o desenvolvimento do pensamento crítico e contribuindo para um melhor entendimento dos assuntos científicos (MATTHEWS, 1992, p. 12).

Dentre os autores que advogam a utilização da história da ciência como um auxiliar no ensino, há diferentes posições. Alguns autores como Douglas Allchin, se preocupam com a qualidade da história da ciência apresentada, em evitar a utilização de uma pseudo-história da ciência². Concordamos com ele, seja quando se utiliza uma abordagem inclusiva³ ou integrada⁴.

1.2 A NATUREZA DA CIÊNCIA OU ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA

A partir dos anos 1970, passou-se a atribuir uma maior importância ao ensino contextualizado⁵ de ciências nos diferentes níveis. Dentro dessa perspectiva, Michael Matthews considera que a história, a filosofia e a sociologia da ciência podem humanizar as ciências fazendo com que as aulas de ciências se tornem mais desafiadoras e reflexivas, estimulando o desenvolvimento do pensamento crítico, contribuindo para um melhor entendimento dos assuntos científicos (MATTHEWS, 1992, p.12).

Uma das abordagens em relação à utilização da História da Ciência ao ensino consiste em explorar a Natureza da Ciência (NOS⁶). Matthews (2015) sugere a utilização da expressão *Features of Science* (FOS) em substituição à expressão *Nature of Science* (NOS).

De acordo com William F. McComas e Michael P. Clough (2020), a Natureza da Ciência (NOS) não é uma descrição de como o mundo natural funciona (que é a ciência em si), mas a descrição sobre como o empreendimento científico funciona. Em suas palavras:

² A pseudo-história da ciência seleciona fatos que dão uma falsa impressão a respeito da natureza da ciência (ALLCHIN, 2004, p. 179).

³ Na medida que os conteúdos científicos são apresentados, é introduzida uma parte histórica.

⁴ Consiste em estruturar todo um curso seguindo a história. Por exemplo, um curso de genética pode iniciar com as contribuições anteriores a Mendel até chegar na Síntese Moderna.

⁵ Isso deveria ser feito por meio da inclusão dos componentes históricos, filosóficos, sociais relacionados à ciência (PRESTES & CALDEIRA, 2009).

⁶ *Nature of Science*.

A Natureza da Ciência (NOS) suscita problemas tais como, o que é ciência, como os trabalhos científicos (incluindo questões de epistemologia e ontologia), qual é o impacto da ciência na sociedade e qual é o impacto da sociedade na ciência e como os cientistas são em suas vidas profissionais e pessoais. (MCCOMAS & CLOUGH, 2020, p. 5)

Douglas Allchin percebe que as circunstâncias ou situação histórica que prevalecem em um determinado momento ou evento, fornecem um contexto em relação ao desenvolvimento e aceitação das ideias científicas, o que possibilita que o professor encontre respostas para o que ele chama de “problemas” não resolvidos (ALLCHIN, 2012, p. 30; MCCOMAS, CLOUGH & NOURI, 2020, p. 82).

McComas recomenda a utilização de alguns aspectos-chave sobre a natureza da ciência que são chamados de “recomendações consensuais” (*consensus recommendations*) tais como o papel da evidência na prática científica; leis e teorias são importantes, mas tipos distintos de conhecimento; existem vários métodos científicos; existem elementos humanos na ciência; a criatividade tem um importante papel na ciência; a ciência também envolve alguma subjetividade; existem impactos socioculturais na ciência e a ciência também impacta a sociedade e cultura; a ciência tem limites para responder a todas as questões; o conhecimento científico é provisório e autocorretivo, mas, em última análise, duradouro; ciência e tecnologia estão relacionadas, mas são distintas (MCCOMAS, 2020, p. 62).

Norman G. Lederman (2006) aponta alguns aspectos que caracterizam a ciência e devem ser abordados no ensino de ciências por serem acessíveis aos estudantes da educação básica. Esses não envolvem discussões tão complexas quanto as que ocorrem em cursos de História e Filosofia da Ciência, mas são importantes no dia a dia dos estudantes. Estes aspectos são:

- O conhecimento científico é provisório;
- O conhecimento científico tem caráter empírico;
- O conhecimento científico é norteado por teorias;
- O conhecimento científico é produto da inferência, criatividade e imaginação humana;
- O conhecimento científico é influenciado pelo contexto cultural e social.

Lederman também considera relevante diferenciar observação e inferência; teorias científicas e leis.

A nosso ver, não se deve simplesmente passar uma lista de aspectos da natureza da ciência para os alunos, mas por meio do estudo de episódios históricos cujos aspectos sobre a natureza da ciência poderão variar, fazer com que eles os percebam e só depois comentar sobre eles.

McComas, Clough & Nouri, (2020, p. 102), comentam sobre a eficiência de se utilizar Natureza da Ciência no ensino-aprendizagem de ciências no âmbito internacional. Além disso, eles constataram a inclusão da natureza da ciência nos objetivos dos documentos relacionados e que os professores estão tomando conhecimento disso. Porém, acrescentam que pouco se sabe como isso está sendo implementado na escola.

1.3 A NATUREZA DA CIÊNCIA NO BRASIL

No Brasil o termo Natureza da Ciência não aparece de modo explícito nos documentos norteadores, porém é salientada a necessidade de inserir tópicos dessa temática na educação básica.

Os *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio* (PCNs) já admitiam que a inclusão de elementos da história e da filosofia da Biologia permite que os alunos compreendam que existem relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político.

Segundo o PCN+ Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (BRASIL, 2002), a contextualização no ensino de ciências deve abarcar competências da inserção da ciência e as suas tecnologias em um processo histórico, social e cultural, assim como devem ser reconhecidos e discutidos os aspectos práticos e éticos da ciência no mundo contemporâneo (BRASIL, 2002, p. 28). Essa contextualização sociocultural é exemplificada em quatro tópicos:

- **Ciência e tecnologia na história:** se refere à compreensão do conhecimento científico e tecnológico como resultantes da construção humana, inseridos em um processo histórico e social;
- **Ciência e tecnologia na cultura contemporânea:** a ciência e a tecnologia devem ser compreendidas como partes integrantes da cultura humana contemporânea;
- **Ciência e tecnologia na atualidade:** se refere a conhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, assim como suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e os impactos na vida social;

- **Ciência e tecnologia, ética e cidadania:** envolve o reconhecimento e avaliação do caráter ético do conhecimento científico e tecnológico, assim como a utilização desses conhecimentos no exercício da cidadania. (BRASIL, 2002, p. 29).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), proposta em 2018, também não trata claramente de Natureza da Ciência, mas propõe que ao estudar ciências, as pessoas aprendem sobre si mesmas, sobre a diversidade e os processos de evolução e manutenção da vida, do mundo material, assim como do planeta Terra que está no Sistema Solar e por sua vez se encontra no Universo. Além disso, os alunos podem aplicar os conhecimentos nas várias esferas da vida humana, o que possibilita que compreendam, expliquem e intervenham no mundo em que vivem. Acreditamos que a história e filosofia da ciência podem auxiliar nessas áreas.

1.4 O ENSINO DE EVOLUÇÃO

Nélio Bizzo se refere a diferentes pesquisas anteriores à década de 1990 sobre as concepções de estudantes sobre evolução. Dentre elas se destaca a tese de John Deadman (1991). Nas entrevistas com 52 alunos que não tinham passado por nenhum curso regular de genética ou evolução, foi constatado que os alunos sabiam que os animais que viviam no passado eram diferentes dos atuais e que estavam relacionados de alguma forma. Todos os alunos ofereceram explicações causais por meio de agentes que atuaram no passado e continuam atuando no presente, modificando os organismos. Em relação à adaptação ao ambiente, alguns alunos se referiram à necessidade, mencionando alguma causa interna que teriam ‘ajudado’ os organismos a viver melhor. Alguns consideraram que as mudanças ambientais, especialmente climáticas, teriam sido o agente mais forte na modificação. A maior parte dos alunos via as adaptações como resposta às mudanças ambientais. Dentre os entrevistados, apenas 11 alunos se referiram a algum tipo de seleção na mudança evolutiva. A ideia do “acaso” era desconhecida. Os alunos mostraram não ter conhecimento sobre as fontes de variação nos organismos. Como sugestão acerca dos principais aspectos a serem tratados ao abordar a evolução biológica, os autores sugerem que sejam explorados os seguintes tópicos: Evolução como fenômeno; Por que ocorreu evolução? O processo de mudança; adaptação; seleção; acaso (probabilidade); Herança; variação biológica (BIZZO, 1991, pp. 165-175).

Em uma pesquisa feita com estudantes brasileiros, Graciela S. Oliveira e Bizzo perceberam que os conhecimentos dos alunos sobre evolução eram limitados e atribuíram esse

fato a fatores tais como: formação do professor, cognição do aluno, questões sociais e culturais que interferiam no entendimento da teoria evolutiva. A maioria dos estudantes (81%) sabia que os fósseis são evidências de formas de vida do passado, mas não conseguia situar isso no tempo e nem na teoria evolutiva. Nesse sentido, a história da geologia e paleontologia, poderiam levar a um melhor entendimento do processo evolutivo (OLIVEIRA & BIZZO, 2015; SAMPAIO, 2020, p. 18).

Marcela D'Ambrosio, Nelio Bizzo e Fernando Santiago dos Santos (2018) apontam dificuldades relacionadas ao ensino de evolução: 1) assimilação temporal das mudanças evolutivas; 2) pensamento populacional; 3) dificuldades em encontrar os grupos de ancestrais; 4) reconhecimento do parentesco entre humanos e outros seres vivos; 5) a ideia de progresso (D'AMBROSIO, BIZZO & SANTOS, 2018, p. 192).

Uma medida que poderia auxiliar no processo ensino-aprendizagem de evolução e suas relações com a geologia e paleontologia, seria a formação continuada dos professores, conforme sugere Willian Franklin Sampaio (2020).

Conforme mencionamos na Introdução desta tese, de um modo geral, pouco aparece na parte histórica referente à evolução dos livros-texto, sobre o papel da geologia e paleontologia nas propostas evolutivas do século XIX de um modo geral e mais especificamente, de Charles Darwin (1809-1882) e J. B. Lamarck (1774-1829). Nesse sentido, os Capítulos 2, 3 e 4 desta tese tratarão desse assunto mostrando os debates que ocorreram sobre a formação das rochas que constituem a crosta terrestre e os tipos de mudança a que ela está sujeita; quais foram os elementos e evidências em que Lamarck e Darwin utilizaram para propor suas teorias. Nesses três capítulos aparecerão diversos aspectos relacionados à natureza da ciência. Vários aspectos mencionados por Lederman (2006) e McComas (2020) poderão ser detectados, além de outros. Esse material poderá ser utilizado pelo professor em suas aulas de diversos modos. Além disso, no Capítulo 5 será apresentada uma sequência didática.

Vários autores consideram importante a produção de materiais que possam ser utilizados em sala de aula e que também sejam oferecidas orientações de como trabalhar com esse tipo de abordagem (CARNEIRO & GASTAL, 2005). Nesse sentido, o estudo histórico e a sequência didática resultantes da presente pesquisa procuram atender a essa demanda.

CAPÍTULO 2

CONCEPÇÕES GEOLÓGICAS NO SÉCULO XIX

Neste capítulo trataremos de dois debates que ocorreram no século XVIII e permaneceram no século XIX: netunismo *versus* plutonismo e catastrofismo *versus* uniformitarismo. Esses debates envolviam as concepções sobre a formação da crosta terrestre e a natureza das mudanças pelas quais ela teria passado. Para isso, selecionamos alguns representantes dessas posições. Como essas discussões estavam presentes não apenas na época em que os personagens centrais desta dissertação deixaram suas contribuições, mas também no período anterior, iniciamos o capítulo voltando um pouco no tempo para recuperar aspectos importantes.

2.1 CONCEPÇÕES SOBRE A FORMAÇÃO DA CROSTA TERRESTRE NO SÉCULO XVIII

No final do século XVIII o estudo das rochas e da superfície terrestre continuou a ser objeto de interesse dos pesquisadores. Sabia-se que a superfície terrestre tinha sofrido modificações no decorrer do tempo. Um dos aspectos que estavam em discussão dizia respeito às forças que teriam atuado na formação das rochas que constituem a crosta terrestre. Nesse sentido, havia principalmente duas explicações para a transformação das rochas sedimentares na época: pela água (o nível dos oceanos teria baixado totalmente) ou pelo calor (os terremotos teriam produzido a elevação da terra). A primeira, era a explicação dada pelos netunistas⁷ e a segunda, a oferecida pelos vulcanistas, também chamados de plutonistas⁸. Porém, havia muitas dúvidas. Por exemplo, se as rochas sedimentares, tinham se formado pela deposição da água como admitiam os netunistas, como permaneciam em terra seca? (MEUNIER, 1911, p. 346; BOWLER, 1989, p. 40). Não havia um consenso sobre qual desses processos seria mais relevante, nem sobre as mudanças que haviam ocorrido na Terra. Porém, tanto os netunistas

⁷ O termo “netunistas” está relacionado a Netuno, o deus do mar na mitologia romana. Seu correspondente na mitologia grega, é Poseidon.

⁸ O termo “plutonismo” foi utilizado com referência a Plutão, o deus dos infernos (GOHAU, 1998, p. 32), da mitologia romana. Seu correspondente na mitologia grega é Hades. Provavelmente foi feita uma associação com o material incandescente proveniente dos vulcões relacionado às profundezas onde habitava Plutão.

como os plutonistas admitiam que o tempo de transformação da superfície terrestre tinha sido muito longo (MARTINS & BAPTISTA, 2007, p. 283).

Para aqueles que interpretavam literalmente a Bíblia, os seres vivos existiam somente há 6000 anos e a natureza não tinha sofrido modificações desde essa época. No século XVII, os autores que admitiam o tempo geológico de milhões de anos eram considerados subversivos. No século XVIII, Buffon atribuiu uma idade de 75000 anos para a Terra (MARTINS & BAPTISTA, 2007, p. 282).

De um modo geral, os estudiosos que se dedicavam à geologia durante o século XVIII admitiam que a porção exterior da crosta terrestre era constituída principalmente por quatro classes de “minerais”: “as terras”; “os metais”, “os sais” e as “substâncias betuminosas”. Eles consideravam que a distinção entre essas substâncias podia ser feita por meio de suas reações ao calor e à água. A seu ver, esses minerais tinham sido inicialmente fluidos e somente mais tarde tinham se tornado sólidos pela ação do calor ou da água. Pode-se dizer que essas ideias eram senso comum na época (LAUDAN, 1987, p. 20).

Georges Louis Leclerc, Conde de Buffon (1707-1788) acreditava que a Terra tinha sido constituída inicialmente por fogo e que houve um período em que o oceano cobriu sua superfície por completo. O movimento das águas desse oceano teria esculpido as montanhas (HUGGET, 1989, p. 55). Portanto, sob esse aspecto, Buffon adotava a visão netunista.

Na mesma época, dois alemães, Johann Gottlob Lehman (1719-1767) e Abraham Gottlob Werner (1749-1817) (figura 1), professores nas escolas de minas, procuraram obter mais esclarecimentos sobre o assunto por meio do estudo dos estratos das rochas sedimentares. A partir desses estudos, Werner, que lecionava em Freiburg, de modo análogo a Buffon, se posicionou pelo netunismo, propondo uma teoria que se baseava na ordem em que as várias camadas tinham sido depositadas (BOWLER, 1989, p. 40). A seu ver, as rochas que haviam se formado antes no tempo, estariam localizadas nas camadas mais profundas em relação àquelas que tinham se formado mais recentemente. Mas, devido ao movimento que levou ao rebaixamento dos oceanos, as rochas mais antigas podiam ser encontradas no topo de montanhas abaixo de rochas de formação mais recente (BOWLER, 1989, p. 61).

Para Werner e os seus seguidores, no início, a superfície terrestre tinha sido coberta por um vasto oceano que continha grande quantidade de material em suspensão. À medida que o nível dos oceanos foi baixando, houve o depósito de rochas que se cristalizaram. Essas formações, inicialmente cobriam totalmente a superfície terrestre. Contudo, mais tarde, o nível do oceano baixou mais ainda expondo uma parte de terra seca. A maior parte dos sedimentos

se formou na superfície terrestre por erosão. Posteriormente, o nível do oceano teve um novo rebaixamento expondo amplas áreas terrestres. Outras rochas foram expostas, mas as montanhas eram constituídas por rochas primárias. A erosão dessas montanhas fez com que grande quantidade de sedimentos fosse depositada no oceano formando os estratos secundários ou rochas.



Fig. 1 Abraham G. Werner

Fonte: Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abraham-werner-1749-1817.png>

De tempos em tempos teriam ocorrido grandes tempestades que produziam irregularidades na deposição dessas rochas. Com o rebaixamento maior do oceano foram expostas rochas secundárias e o material proveniente de sua erosão constituiu as formações aluviais mais importantes. Somente mais recentemente, com mais um rebaixamento do nível dos oceanos, as rochas aluviais foram expostas (BOWLER, 1989, p. 43). Para Werner, as rochas que consideramos atualmente como sendo de origem vulcânica como o basalto, por exemplo, tiveram origem aquosa, tendo sido formadas na água pela precipitação de substâncias químicas. No entanto, uma vez que determinadas espécies apareciam apenas em algumas camadas, ele considerava que as diferentes formações podiam ser identificadas pelos fósseis nelas encontrados (PACKARD, 1901, p. 55).

Werner admitia “durações enormes” para a precipitação das rochas primitivas. Em um de seus manuscritos estipulou 1.000.000 de anos (ELLENBERGER, 1999, pp. 40-41;

MARTINS & BAPTISTA, 2007, p. 283). Para os netunistas, a atividade vulcânica não era relevante para a formação da crosta terrestre, ao contrário do que admitiam os vulcanistas.

Robert Hooke (1635-1703) e Peter Simon Pallas (1741-1811) acreditavam que movimentos como os terremotos, teriam elevado a superfície terrestre após as rochas sedimentares terem sido depositadas (BOWLER, 1989, p. 61). Um exemplo representativo de teoria vulcanista durante a primeira metade do século XVIII foi a proposta de Anton-Lazzaro Moro (1687-1764). No seu entendimento, as camadas de rochas sedimentares eram constituídas por cinza que tinha sido depositada durante as erupções vulcânicas. Ele não tinha conhecimento de que os fósseis de animais marinhos podiam ser encontrados somente em rochas sedimentares.



Fig. 2 Medalha Lazzaro Moro

Fonte: Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Medal_of_Lazzaro_Moro._Panteon_Veneto%3B_Istituto_Veneto_di_Sienze%2C_Lettere_ed_Arti.jpg

Outros partidários do vulcanismo consideravam que as rochas mais estratificadas estavam inicialmente sob a água, mas posteriormente haviam sido elevadas por forças vulcânicas (BOWLER, 1989, p. 44).

Em 1785, o escocês James Hutton (1726-1797) (figura 3) apresentou oralmente para a *Royal Society* de Edinburgh uma primeira versão de sua teoria sobre a formação da superfície terrestre. Contudo, ela somente foi publicada nas *Transactions of the Royal Society of London* três anos depois. A versão final expandida de *Theory of the Earth* foi publicada posteriormente em 1795 em dois volumes (HUTTON, 1795). Duas características marcantes na teoria de

Hutton foram a ênfase do calor e a visão “uniformitarista”⁹. Diferentemente de outros vulcanistas contemporâneos e predecessores que consideravam o calor resultante do fogo, Hutton o considerava distinto do fogo¹⁰ (GERSTNER, 1968, p. 26).



Fig. 3. James Hutton

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_hutton-1726-1797.gif

Hutton apresentou evidências de que o centro da Terra era muito quente, o que foi utilizado pelos vulcanistas para explicar a formação das montanhas¹¹. Ele encontrou áreas em que havia intrusão de granito e basalto nos estratos e mostrou que eram rochas de origem vulcânica (BOWLER, 1989, pp. 44-45). Para Hutton, tanto a elevação de novas superfícies, como a sua destruição levavam um longo período de tempo e eram processos que ocorriam lentamente (BOWLER, 1989, p. 61). Ele estipulou longas durações para o seu sistema (“milhões de idades”) (MARTINS & BAPTISTA, 2007, p. 283).

⁹ Simplificadamente, o termo “uniformitarismo” propõe que o presente é a chave do passado, ou seja, é uma tentativa de explicar as modificações na superfície terrestre através de causas que agem atualmente (GOHAU, 1998, p. 125). Contudo, o termo foi cunhado por William Whewell em 1832, embora a ideia já existisse antes. Para uma discussão sobre o conceito de uniformitarismo, ver por exemplo, Gould, 1965.

¹⁰ Para Hutton, o calor era uma força que poderia permanecer dormente durante certo tempo e em alguns momentos se tornar ativa quando ocorria a elevação dos continentes. Essa visão lhe valeu críticas de seus contemporâneos. Por outro lado, o fogo, na geologia, era relacionado a forças repulsivas. (GERSTNER, 1968, p. 26)

¹¹ O calor tinha um importante papel na geologia de Hutton fundindo os resíduos e formando os minerais (GERSTNER, 1968, p. 29).

O geólogo escocês considerava que o processo de funcionamento da Terra era cíclico. Os mesmos fenômenos se reproduziriam indefinidamente. Assim, não existia o vestígio de um início, nem a perspectiva de um fim. Conseqüentemente, o passado seria regido pelas mesmas forças¹² que observamos atualmente. A negação de uma criação e a semelhança desses processos com o dilúvio de Noé, levou vários geólogos a criticarem o trabalho de Hutton considerando-o antibíblico (GOHAU, 1998, p. 107; BOWLER, 1989, p. 61). Hutton imaginou que os continentes foram inicialmente destruídos pela ação da água e que suas ruínas forneceram material para a construção de novos continentes que se elevaram por convulsões violentas, que se alternavam com períodos de repouso. Ele observou que alguns estratos se caracterizavam pela presença de determinados fósseis, porém os princípios de estratificação foram esclarecidos mais tarde por William Smith (1735-1777) (PACKARD, 1901, p. 55).

Como o estilo de Hutton foi considerado complexo na época, John Playfair (1748-1819) (figura 4) procurou apresentar as concepções de Hutton de modo mais claro na obra *The Huttonian theory of the Earth* (“A teoria da Terra, de Hutton”) (PLAYFAIR, 1802). Essa obra é algumas vezes vista mais como uma interpretação da proposta de Hutton por Playfair do que a descrição fiel de sua teoria¹³ (GERSTNER, 1968, p. 27).



Fig. 4 John Playfair

Fonte: Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John-playfair-1748-1819.jpg>

¹² Forças de atração e repulsão.

¹³ De acordo com Gohau e Bowler, Playfair (1802) eliminou o aspecto teleológico da obra de Hutton e acrescentou aspectos que poderiam ser melhor compreendidos pelos geólogos do século XIX (GOHAU, 1998, p. 103; BOWLER, 1989, p. 61).

Em uma resenha crítica de Playfair (1802), de forma anônima, o autor comentou que a teoria de Hutton dependia de um postulado que “consistia na suposição de um fogo central perpétuo que pela sua intensidade, era capaz de derreter a argila e pela sua expansão, elevar os continentes” (ANONYMOS,1802, p. 202).

Playfair (1802) aceitava alguns pressupostos da teoria de Hutton, mas rejeitava outros. Por exemplo, de modo análogo a Hutton, admitia que as rochas sedimentares tinham se formado sob a ação da água, mas negava que o material que as constituía estivesse inicialmente disperso em um vasto oceano primordial. Concordava que as grandes massas de terra estavam sujeitas à erosão pela ação contínua do vento, chuva e rios e que os resíduos eram levados para o fundo dos oceanos. Ele assumia que o calor proveniente do centro da Terra penetrava nos sedimentos formando as camadas de rochas. A nova rocha era elevada pela força dos furacões, calor e pressão do núcleo do planeta para formar a terra firme. Os vulcões eram explicados pelo escape da rocha fundida para a superfície.

Em 1807 foi fundada a *Geological Society* em Londres, ainda sob os auspícios do debate entre netunistas e vulcanistas. Foi nessa época que um grupo de geólogos defendeu o que viria a ser chamado mais tarde de “catastrofismo” (LAUDAN, 1987). A maioria dos geólogos já não acreditava que um terremoto comum pudesse produzir a elevação de uma montanha ou que rios pudessem aos poucos formar um vale. Porém, defendiam que no passado houve movimentos em grande escala na Terra que não mais eram observados no presente, inclusive um grande dilúvio que teria atingido a Grã-Bretanha. No entanto, nem sempre essas ideias estavam relacionadas ao dilúvio universal do *Gênesis* (BOWLER, 1989, pp. 119-120).

2.2 CONCEPÇÕES SOBRE A FORMAÇÃO DA CROSTA TERRESTRE NO SÉCULO XIX

Na França, no início do século XIX, Jean Baptiste Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) (figura 5) admitia que as transformações na superfície terrestre tinham ocorrido pela ação da água com o deslocamento dos oceanos que percorreram de modo contínuo e lento todos os pontos da superfície terrestre. Para justificar sua posição se referiu ao estado em que se encontrava a região de Vaches-Noires (Calvados)¹⁴ (figura 6). (LAMARCK, 1802b; MEUNIER, 1911, p. 81).

¹⁴ Vaches-Noires se situa em Calvados, norte da França. É formada por falésias constituídas por várias camadas de argila, mármore e calcáreo. É conhecida por seus fósseis encontrados no início do século XVIII. Lá foram encontrados os primeiros vestígios de dinossauros na França.



Fig. 5. Jean-Baptiste de Lamarck

Fonte: Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Jean-baptiste_lamarck2.jpg



Fig. 6. Falésias¹⁵ de Vaches-Noires

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Falaises_des_Vaches_Noires.jpg

¹⁵ Falésias ou penedias são paredões íngremes presentes no litoral de quase todo o mundo. Resultam da ação lenta e constante da água do mar, pelas ondas e marés, e também da ação das chuvas.

Ao organizar as espécies fósseis e atuais do Museu de História Natural de Paris, Lamarck considerou que as espécies poderiam ter se modificado e não se extinguido. Essa posição era diferente de outros naturalistas como, por exemplo, Lazaro Spallanzani que em 1785 considerou que os fósseis de Citera¹⁶ correspondiam a “raças” de conchas já extintas (PRESTES, 2011, p. 13) ou Georges Cuvier. Discutiremos sobre as ideias de Lamarck mais detalhadamente no próximo capítulo desta tese.

Na década de 1820, Jean-Leopold Nicolas Frederic, Baron de Cuvier, conhecido como Georges Cuvier (1769-1832) (figura 7) defendeu a existência de grandes revoluções no globo terrestre. Essas revoluções podiam levar à extinção, mas nem sempre isso ocorria. A seu ver, “novos” animais podiam estar vivendo em uma parte do globo terrestre que não tivesse sido afetada pela revolução e migrado posteriormente para a parte que havia sido atingida por ela. Assim, ele negava a existência de um dilúvio universal. Mais tarde, sua teoria das migrações foi considerada implausível pelos geólogos, pois não foram encontrados fósseis de animais modernos em nenhuma parte do mundo. Isso mostrou que as novas formas de vida foram sendo introduzidas em diferentes épocas da história da Terra (BOWLER, 1989, p. 117). As revoluções geológicas teriam sido numerosas e súbitas e algumas delas teriam ocorrido antes do aparecimento de seres vivos na Terra (MARTINS & BAPTISTA, 2007, p. 284). Cuvier interpretou as maiores lacunas no registro geológico como resultado dessas revoluções (OLDROYD, 1996, p. 132).

Apontado como o mais forte opositor de Lamarck, de acordo com Richard Burkhardt (1970), no período pós-revolução na França, Cuvier se serviu de sua posição científica e política para fazer oposição à transmutação das espécies. As razões para isso, no entanto, não eram apenas de ordem religiosa, mas também podem ser explicadas do ponto de vista epistêmico. Levando em conta a complexidade da relação entre as partes internas dos organismos vivos, ele considerava que seu delicado equilíbrio impossibilitava qualquer mudança significativa¹⁷. Mesmo na reconstrução de formas fósseis antigas, ele insistiu que elas não poderiam estar ligadas por “evolução”.

¹⁶ Ilha grega que faz parte das Ilhas Jônicas.

¹⁷ Cuvier atribuía importância à correlação entre as partes, ou seja, às relações que deveriam existir entre os órgãos ou partes para que o organismo como um todo se tornasse viável (BOWLER, 1989, p. 112). Embora o meio pudesse levar à produção de variedades, as espécies eram fixas (*Ibid.*, 1989, p. 114).



Fig. 7. Georges Cuvier

Fonte: Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Georges-cuvier-1769-1832.jpg>

A partir do estudo de ossos fósseis e da visualização de animais, aos poucos, Cuvier foi se tornando uma autoridade no campo. Seus artigos proporcionaram importantes subsídios para a paleontologia moderna.

À medida que Cuvier foi reconstruindo uma gama cada vez maior de formas extintas, inicialmente pensou que se tratava de uma única população antiga. Mas como já havia sido mostrado que a Terra tinha sido coberta por uma sucessão de formações rochosas, uma sobre a outra ao longo de um vasto período de tempo, ele mudou de ideia. Passou a admitir que o mamute encontrado nas camadas superficiais seria mais recente em termos geológicos, apenas alguns milhares de anos, mas os outros fósseis se encontravam em camadas mais antigas e, portanto, eram mais antigos. Isso dava uma ideia da possível sequência das populações extintas correspondentes a cada período de formação rochosa. Considerou, por exemplo, os elefantes africano e asiático, assim como o mamute como sendo espécies diferentes de um mesmo gênero, mas o mastodonte pertenceria a um gênero diferente (CUVIER, 1812).

Para corroborar essa ideia, Cuvier estabeleceu uma parceria com Alexandre Brongniart (1770-1847), enquanto reconstruía a partir de vestígios de invertebrados, os fósseis encontrados nos estratos da bacia de Paris. Ao mesmo tempo, seus estudos anatômicos contribuíram para a classificação feita por Lamarck. Eles estabeleceram uma sequência do Terciário até os depósitos subjacentes de calcário, que constituíam o limite superior da série secundária mais

antiga. Quanto mais antigo fosse seu período de formação, mais bizarros e menos semelhantes às formas atuais eram os fósseis de vertebrados encontrados (RUDWICK, 1996).

Em sua obra *Discours sur les révolutions du globe* (“Discurso sobre as revoluções do globo”) (1826), Cuvier discutiu sobre como teria ocorrido o desaparecimento das populações antigas e a introdução das novas formas que as substituíram. As observações feitas na bacia de Paris indicavam que depósitos de água salgada e água doce se alternavam. Isso sugeria que haviam ocorrido mudanças na crosta terrestre e no oceano. Como havia rupturas em relação às populações, ele imaginou que essas mudanças teriam sido abruptas. Assim, a seu ver, as revoluções geológicas seriam a causa de extinção.

Cuvier foi levado a crer que houve um longo período em que o oceano teria coberto as atuais planícies, o que teria levado à formação de depósitos (extensos e espessos), em parte sólidos, contendo relíquias perfeitamente preservadas. Criticou a ideia antiga de que essas relíquias seriam “brinquedos da natureza”. A seu ver tratava-se de conchas semelhantes às encontradas atualmente e isso se devia ao movimento do oceano em relação à sua situação ou extensão. A essas mudanças, ele chamou de *revoluções*. Em suas palavras:

Os traços das revoluções tornam-se mais imponentes à medida que se sobe um pouco mais e se aproxima da base das altas montanhas. Há ainda várias camadas de conchas. Algumas [camadas] são mesmo mais espessas, mais sólidas; as conchas são mais numerosas e estão bem preservadas; mas não pertencem mais às mesmas espécies; as camadas que as contêm geralmente não são mais horizontais; elas se direcionam obliquamente, algumas vezes quase verticalmente. (CUVIER, 1826. p. 5)

Cuvier observou que havia rupturas nas sequências de estratos geológicos. Propôs que as sucessivas faunas podiam ser marinhas, depois terrestres, depois novamente marinhas e depois talvez novamente terrestres. Também mencionou que ocorreram diversas invasões do oceano (MAYR, 1982, p. 365).

Baseado nos restos encontrados nos diversos estratos, Cuvier concluiu que a Terra sofreu várias elevações e rebaixamentos: grandes revoluções, que ocorriam de forma repentina. Os restos de alguns quadrúpedes encontrados no gelo do norte europeu com carne, pelo e restos de alimentos seriam um indício disso. Assim, muitas espécies foram extintas pelo afogamento durante grandes inundações ou congelamento, etc. Ele também chegou à conclusão de que nem sempre houve vida na Terra.

William Whewell (1794-1886) (figura 8), no início da década de 1830, empregou os termos “uniformitarismo” e “catastrofismo” em uma resenha crítica do segundo volume do livro *Principles of Geology*, de Charles Lyell (1797-1875) (figura 9) em 1832 (WHEWELL, 1832). Ao se referir ao catastrofismo, provavelmente teve em mente autores como Cuvier (OLDROYD, 1996, p. 330), em cujas obras a ideia, mas não o termo, estavam presentes. Nas palavras de Whewell:

As mudanças que nos levaram de um estado geológico a outro, teriam sido mais ou menos longas, uniformes em sua intensidade ou teriam consistido em épocas de ação paroxística e catastrófica entre períodos de comparativa tranquilidade? Essas duas opiniões, provavelmente, dividirão durante algum tempo o mundo geológico em duas seitas, que podem talvez ser designadas por Uniformitaristas e Catastrofistas. (WHEWELL, 1832, p. 126, *apud*, GOULD, 1965, p. 225)



Fig. 8 William Whewell

Fonte: Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/Portrait_of_W._Whewell%3B_stipple_engraving_Wellcome_L0014766.jpg

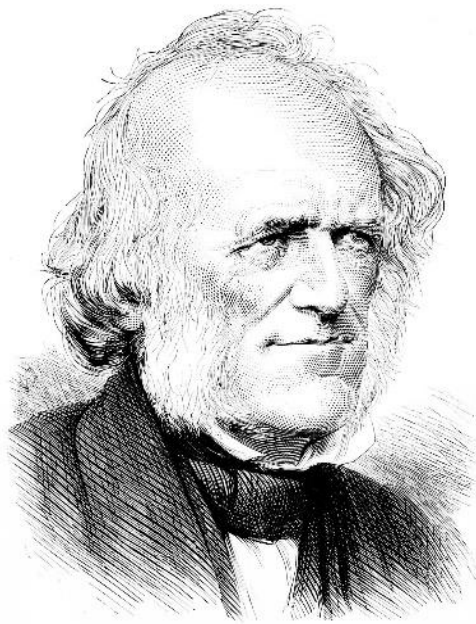


Fig. 9. Charles Lyell

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PSM_V01_D242_and_V20_D610_Charles_Lyell.jpg

Em 1823, Lyell passou dois meses em Paris, onde estudou francês e assistiu palestras sobre mineralogia, química, geologia e zoologia. Durante sua estadia interagiu com estudiosos franceses, como Alexandre Brongniart, George Cuvier, Constante Prévost (1787-1856) e Alexandre Von Humboldt (1769- 1859) (WILSON, 2007, p. 1755).

Em 1828 Lyell viajou para a região de Auvergne, juntamente com Roderick Murchinson¹⁸ (1792-1871). Nessa região havia vulcões de três épocas distintas. Os vulcões que tinham sido extintos mais recentemente a inda mantinham seus cones e crateras intactos, com camadas de lava se estendendo até os vales fluviais. Sob tais camadas de lava havia outras, que não tinham relação com os cones existentes. A mais antiga das camadas era constituída por massas isoladas de basalto que recobriam as colinas antigas. Além disso, os estratos encontrados nos lagos apresentavam fósseis de animais marinhos extintos (WILSON, 2007, p. 1756).

Pode-se dizer que no final da década de 1820, Charles Lyell adotou uma posição “uniformitarista”. Em seu livro *Principles of geology* (1830-1833), ele apresentou diversos argumentos para mostrar que hipóteses baseadas em causas observáveis ofereciam uma

¹⁸ Murchinson foi um geólogo que estabeleceu a sequência dos estratos mais antigos da Era Paleozoica. Ingressou na Sociedade Geológica de Londres em 1825 e nos anos que se sucederam explorou a Escócia, França e os Alpes. Foi colaborador de Lyell e de Adam Sedgwick (1785-1873), geólogo britânico.

explicação mais adequada para os fenômenos do que as grandes catástrofes. Nas palavras de Walter Cannon:

Em relação à uniformidade de “causas”, Lyell não estava se referindo apenas aos mesmos agentes geológicos (chuva e rios, furacões e vulcões etc.) que atuaram tanto no passado como no presente, mas também que a quantidade e intensidade da ação desses agentes nunca variou. Sua visão do passado era de uma “variação sem fim” que não levava a nada em particular, uma aparente repetição contínua de processos de aumento e erosão de continentes. (CANNON, 1960, p. 38)

Na década de 1830, após o falecimento de Lamarck, acreditava-se que cada formação rochosa tinha ocorrido durante um período particular da história da Terra e as mais inferiores eram as mais antigas. Por meio do estabelecimento da sequência das formações rochosas, os geólogos puderam ter uma ideia do desenvolvimento histórico da Terra. Os fósseis eram elementos importantes para se tomar conhecimento da sequência das formações. Os seguidores de Werner propuseram os princípios da estratigrafia, mas consideravam que a determinação da sucessão das formações devia ser feita pelo caráter mineralógico. Nesse momento, passou-se a acreditar que rochas do mesmo tipo podiam ter sido formadas em diferentes períodos da história da Terra (BOWLER, 1989, p. 123).

No primeiro volume de seu livro *Principles of Geology*, Lyell criticou algumas teorias anteriores considerando-as especulativas, mas isso não se aplicou à proposta de Hutton, notadamente sua conclusão de que não se tem a perspectiva de um começo e nem de um fim (RUDWICK, 1970 p. 8). Além disso, de acordo com sua crença de que a geologia nunca poderia penetrar além desses ciclos repetitivos ou retomar um estado original ou primitivo da superfície terrestre, ele negou categoricamente que a geologia pudesse mostrar qualquer desenvolvimento geral do estado original da superfície terrestre (CANNON, 1960, p. 38).

Como Hutton, Lyell acreditava que não havia evidências de que o estado primitivo da Terra tivesse sobrevivido (RUDWICK, 1970, p. 9). Ele também concordava com Hutton em que os furacões e as erupções vulcânicas eram manifestações alternativas do mesmo processo de intrusão e expansão que ocorria a grandes profundidades. Haveria um equilíbrio completo entre os agentes geológicos construtivos e destrutivos (RUDWICK, 1970, p. 17). Adicionalmente, utilizou este argumento para negar a teoria de Lamarck de um desenvolvimento sucessivo da vida animal e vegetal e do avanço progressivo para um estado mais perfeito (CANNON, 1960, p. 38).

Lyell considerava importante fazer uma distinção entre interpretação geológica e o que estava presente nas Escrituras. Ele admitiu que inicialmente, seus preconceitos fizeram com que ele pusesse em dúvida as evidências relacionadas ao uniformitarismo (RUDWICK, 1970, p. 10). Mas depois, ele enfatizou que os geólogos deveriam estudar todas as mudanças que ocorrem diariamente na Terra, pois isso os ajudaria a compreender os fenômenos geológicos que ocorreram no passado (WILSON, 2007, p. 1759). Lyell admitia tanto a existência de processos aquosos como ígneos, portanto, uma conciliação entre as posições vulcanista e netunista (RUDWICK, 1970, p. 15).

No segundo volume desta obra, a partir de vários exemplos, Lyell propôs que as espécies eram entidades reais, definidas e estáveis. Como as espécies eram estáveis, existiram em determinado lugar e tempo na história geológica, sendo que após determinado tempo tais espécies seriam extintas e substituídas por novas, mas não explicou como surgiriam novas espécies (WILSON, 2007, p. 1759). Embora admitisse que a teoria de Lamarck tinha chamado a atenção para “evitar a intervenção da Primeira Causa” para qualquer nova espécie, ele tinha sérias dúvidas sobre sua validade (LYELL, 1832, p. 18; RUDWICK, 1970, p. 18). Por outro lado, a escala do tempo geológico apresentada por Lamarck tinha chamado sua atenção, embora ele fosse um seguidor de Cuvier em relação à fixidez das espécies, limitando suas variações ao âmbito de variedades, mas não de novas espécies (RUDWICK, 1970, p. 18). Ele também discutiu como o mundo orgânico podia afetar o mundo inorgânico (RUDWICK, 1970, p. 22).

No terceiro volume, Lyell (1833) buscou responder algumas críticas feitas às ideias contidas nos dois primeiros volumes e iniciou com a defesa do uniformitarismo. Ele argumentou que a ordem natural do passado era uniforme como no presente; as leis físicas eram verdadeiras e ocorriam os mesmos tipos de processos. Logo, os geólogos deveriam explicar os fenômenos geológicos fazendo uma analogia com os processos modernos (WILSON, 2007, p. 1760). Acrescentou que as características dos fósseis encontrados nos estratos deveriam ser vistas com cautela e que os fósseis marinhos eram mais confiáveis porque suas províncias eram mais amplas do que aquelas das espécies terrestres.

De acordo com Martin Rudwick, Lyell não estava interessado meramente em identificar os estratos a partir de umas poucas características dos fósseis como a maior parte de seus contemporâneos, mas em estabelecer um “cronômetro geológico *quantitativo*” que indicasse não apenas a ordem dos estratos, mas suas datas (não em anos), embora claro ele não utilizasse essa expressão. O trabalho desse cronômetro dependia fundamentalmente da visão de que

durante vastos períodos de tempo geológico havia uma taxa de mudança uniforme no mundo orgânico (RUDWICK, 1970, pp. 24-25).

Pode-se dizer que a obra *Principles of geology* mais tarde, representaria um papel importante na teoria de Charles Darwin. Embora Lyell não fosse um adepto da transmutação das espécies, suas concepções geológicas forneceram subsídios para a teoria de Darwin, como veremos no Capítulo 3 desta tese.

De acordo com Jim Secord (1991), assim que o HMS Beagle atracou pela primeira vez em terra firme em janeiro de 1832, Charles Robert Darwin (1809-1882) (figura 10) começou a tomar notas sobre os aspectos geológicos que estava observando. Logo ele iria fazer planos para escrever um volume sobre a estrutura geológica dos locais que iria visitar. A correspondência com suas irmãs mostra que ele se considerava um geólogo. Antes disso, seu interesse era apenas de um amador, tendo sido despertado por sua breve viagem a Wales com Adam Sedgwick (1785-1873) e a leitura do primeiro volume do *Principles of Geology* de Lyell durante a viagem do Beagle (SECORD, 1991, p. 133).

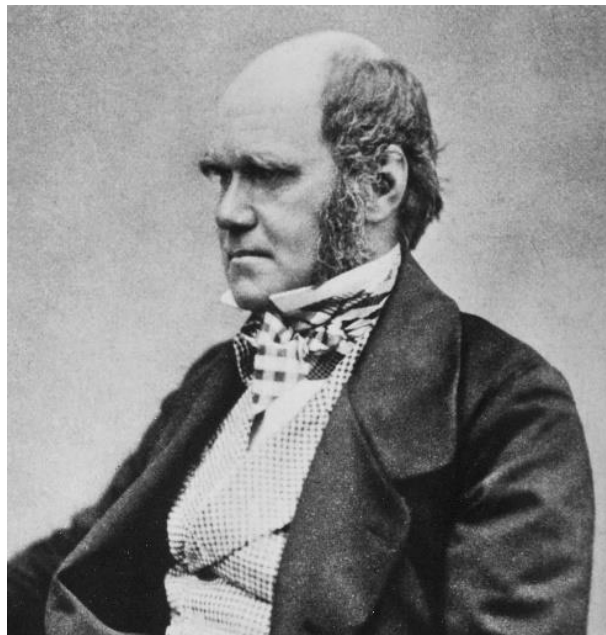


Fig. 10. Charles Robert Darwin.

Fonte: Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Charles_Darwin_seated_crop.jpg

A geologia estava em destaque nas décadas de 1820 e 1830, sendo uma ciência pautada em profundos debates e controvérsias. Tanto em Edinburgh como em Cambridge, Darwin tomou conhecimento dos mesmos e precisou fazer escolhas (SECORD, 1931, p. 134).

Em seus estudos em Edinburgh, Darwin tomou contato tanto com defensores do netunismo como do plutonismo. Inicialmente, foi aluno de Robert Jameson (1774-1854), que lecionava História natural. Seguidor das ideias de Werner, Jameson defendia uma geologia relativamente estática focada em ordenar os estratos. Esses estratos tinham sido precipitados a partir de um oceano universal. Essas águas teriam ocasionado a formação de uma sequência de rochas que poderiam ser encontradas no mundo todo. Contudo, na década de 1820, essa teoria estava sendo atacada na Escócia. Um dos aspectos mais controversos era a produção das veias no granito e basalto. De acordo com Werner e Jameson, essas veias eram resultado de infiltrações de sedimentos acima e não da fusão abaixo (SECORD, 1991, p. 138). Em 1827-1828, Darwin teve contato com a outra posição por meio de seu professor de química¹⁹, Thomas Charles Hope (1766-1844) que se opunha às ideias de Werner e defendia as posições de Hutton, John Playfair e James Hall (1811-1898)²⁰. Esses estudiosos atribuíam um papel importante ao calor subterrâneo considerando-o o principal agente na formação da superfície terrestre (SECORD, 1991, p. 139). Uma disputa entre Hope e Jameson ficou famosa na Universidade de Edinburgh (SECORD, 1991, p. 141). Nas palavras de Secord:

Com Jameson, Darwin aprendeu os métodos para identificar os estratos e [fazer] descrição mineralógica. Mas, se o curso de Jameson era mais sólido, Darwin preferiu o sublime espetáculo das palestras de Hope, com ênfase na explicação causal e da Terra como um teatro ativo de processos e mudanças. A leitura dos *Principles of Geology* de Lyell contribuiu para solidificar os fundamentos da teoria de Hutton adquiridos em Edinburgh. (SECORD, 1991, p. 142)

2.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

As concepções geológicas e as evidências encontradas nos diferentes períodos históricos mencionados neste capítulo, deram margem a diferentes interpretações que podem ser relacionadas a diferentes posições sobre a origem das espécies. Nesta tese optamos por abordar duas posições encontradas durante o século XIX e suas relações com os estudos geológicos, por se tratar de naturalistas, Lamarck e Darwin, que conceberam teorias sobre as espécies a partir de um estudo de história natural. Veremos que nos capítulos que se seguem, ao contrário

¹⁹ Nessa época a química e mineralogia estavam bastante relacionadas com alguns tipos de geologia e Hope incluía essas relações em suas aulas (SECORD, 1991, p. 139).

²⁰ Geólogo e paleontólogo norte-americano que tinha um bom conhecimento da estratigrafia.

de Cuvier, por exemplo, as evidências encontradas tanto por Lamarck como por Darwin em seus estudos geológicos contribuíram para a admissão da transmutação das espécies.

A pesquisa desenvolvida até aqui mostrou que na ciência sempre é possível a discordância, que os estudiosos geralmente se baseiam em evidências podendo interpretá-las à luz de diferentes teorias; que o empreendimento científico resulta de várias contribuições que incluem acertos e equívocos e que sempre deve ser considerado o contexto em que se deram as várias contribuições. Além disso, que é complicado aplicar rótulos aos cientistas.

CAPÍTULO 3

LAMARCK, GEOLOGIA E A TRANSMUTAÇÃO DAS ESPÉCIES

Neste capítulo discutiremos sobre as concepções geológicas e “paleontológicas” de Jean Baptiste Antoine Pierre de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e de que maneira seus estudos sobre esses assuntos contribuíram para a sua teoria da transmutação dos animais²¹. Procuraremos trazer esclarecimentos sobre sua posição em relação aos debates que ocorriam na época: netunismo *versus* plutonismo e catastrofismo *versus* uniformitarismo, que foram abordados no capítulo anterior. Iniciaremos trazendo algumas informações sobre a carreira, interesses profissionais e apresentando um breve esboço da teoria original de Lamarck.

3.1 LAMARCK: CARREIRA E INTERESSES PROFISSIONAIS

Jean Baptiste Antoine Pierre de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829), foi o mais jovem dos onze filhos de Marie-Françoise de Fontaines de Chuignolles e Philippe Jacques de Monet de La Marck (1702-1759). Embora a família de Lamarck pertencesse à nobreza do norte da França, estava bastante empobrecida na ocasião de seu nascimento (LANDRIEU, 1908, p. 10).

Por razões econômicas e sociais, Lamarck, aos doze anos, foi mandado para a *Escola de Jesuítas de Amiens*, para seguir a carreira eclesiástica. Contudo, logo após a morte de seu pai, quando *Escola de Jesuítas* foi fechada, Lamarck ingressou no exército francês e lutou na Guerra dos Sete Anos²² (1763-1768). Quando ela acabou, ele passou cinco anos em fortes franceses no Mediterrâneo. Durante esse período ele teve contato com a flora francesa, colecionando e identificando plantas (BURLINGAME, 1981, p. 584).

Devido a problemas de saúde, Lamarck deixou o serviço militar e trabalhou em um banco em Paris durante um ano. A seguir, ingressou no curso de Medicina, que frequentou

²¹ Lamarck não utilizava o termo “evolução” para se referir à sua teoria, pois na época significava o que entendemos hoje como ontogênese. Ele empregava outros termos tais como progresso, progressão, aumento crescente de complexidade, composição progressiva. Adotamos aqui nesta tese o termo “progressão” (ver MARTINS, 2007, pp.13-14).

²² A Guerra dos Sete Anos envolveu vários países, incluindo a Grã-Bretanha e a França. O conflito teve início motivado por problemas que não tinham sido solucionados na Guerra da sucessão austríaca em que a Prússia buscava um maior domínio. Além disso, as rivalidades entre a Bretanha e a França no tocante às colônias na América do Norte e nas ilhas do Caribe.

durante quatro anos, porém, não o concluiu. Foi nessa época que estudou botânica no *Jardim do Rei*. Na década de 1770, estudou por conta própria botânica, meteorologia e química (LANDRIEU, 1908, pp-24-26). Em 1776, apresentou seu primeiro trabalho científico sobre meteorologia, na Academia de Ciências de Paris (MARTINS, 2007, p. 27).

Embora existissem vários sistemas de classificação, Lamarck desenvolveu o seu próprio sistema de classificação dos vegetais que apresentou nos três volumes da *Flore Française* (LANDRIEU, 1908, p. 30) (figura 11) no final da década de 1770. Nessa época, Georges Louis Leclerc, Conde de Buffon (1707-1788), que ocupava um cargo importante no Jardim do Rei, interessou-se pelo trabalho de Lamarck que foi publicado em 1779 e teve um grande sucesso com mais de uma edição (MARTINS, 2007, p. 28).

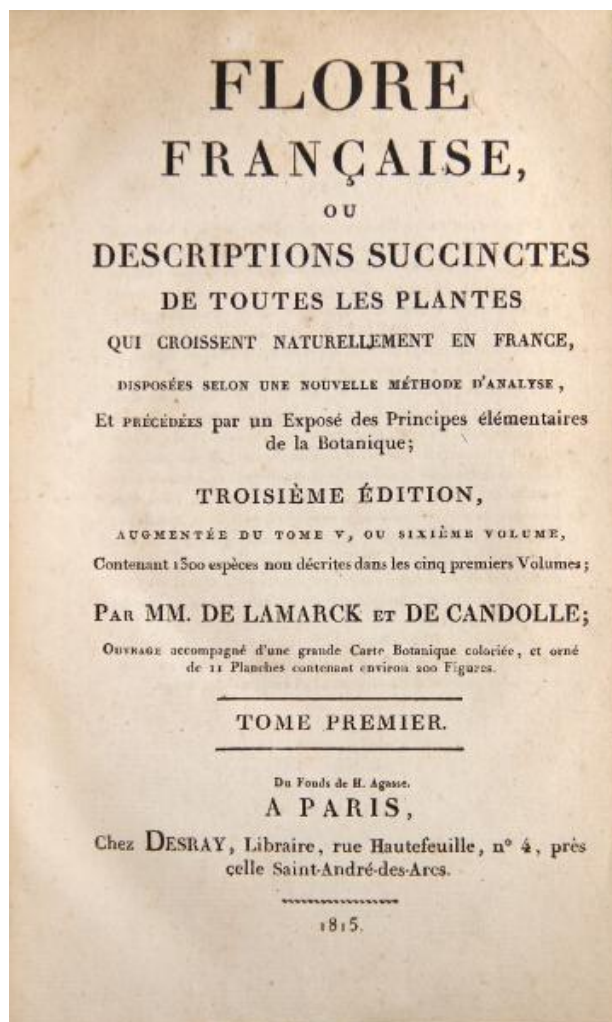


Fig. 11: Folha de rosto da terceira edição da obra *Flore Française*, publicada originalmente em 1779.

Fonte: Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flore-Fran%C3%A7aise-1815.jpg>

Lamarck escreveu também verbetes para o *Dictionnaire de botanique* (Dicionário de botânica) que fazia parte da *Encyclopédie méthodique* (“Enciclopédia metódica”) (1783-1785) (figura 12) (BURLINGAME, 1981, p. 585).

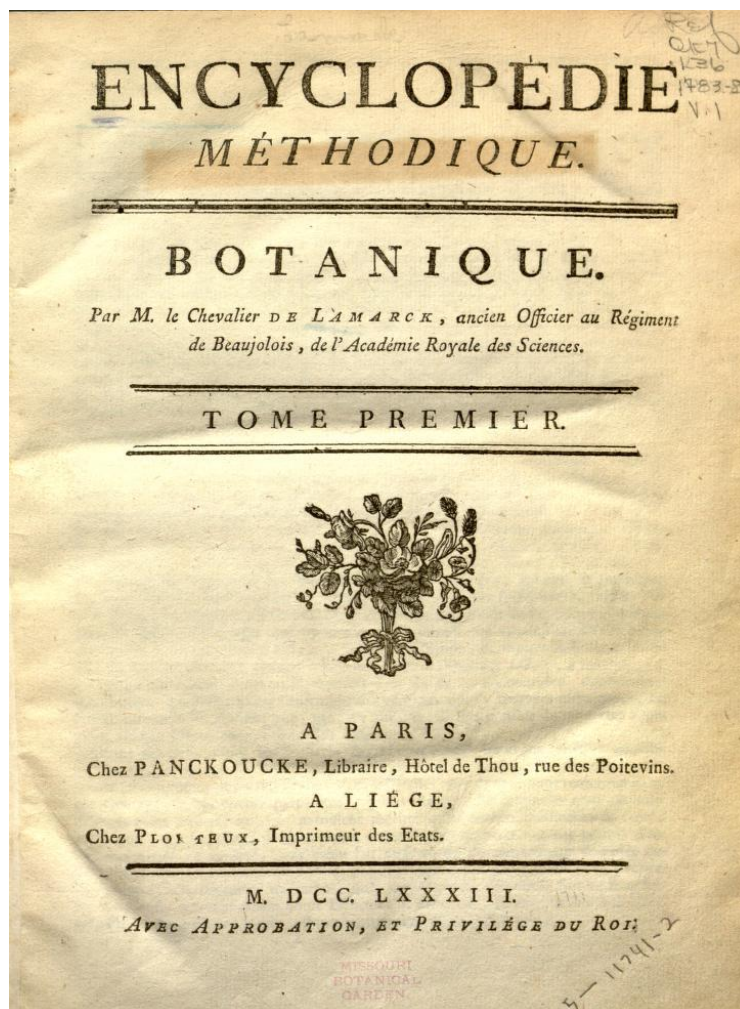


Fig. 12: Folha de rosto do primeiro volume da *Encyclopédie méthodique. Botanique* (1783) em que Lamarck deixou contribuições para a botânica.

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Encyclop%C3%A9die_m%C3%A9thodique_Botanique.jpg

Em 1788 Buffon faleceu, mas Lamarck continuou sendo prestigiado como botânico. Ele foi nomeado *Botânico do Jardim do Rei e Guardião do Herbário do Jardim do Rei* em 1789. Contudo, no mesmo ano ocorreu a Revolução Francesa que deu início a uma reestruturação das antigas instituições. O *Jardim do Rei* sofreu modificações e passou a constituir o *Museu Nacional de História Natural* (MARTINS, 2007, p. 29). Lamarck foi convidado para a função

de professor de “insetos, vermes e animais microscópicos”²³ (LANDRIEU, 1901, p. 63), iniciando seus trabalhos de zoologia. O conhecimento de Lamarck sobre o assunto se limitava ao interesse por conchas e seu contato com Jean Guillaume Bruguière (1749-1798), um especialista no assunto (BURLINGAME, 1981, p. 588).

Em 1794, aos cinquenta anos, Lamarck iniciou seus estudos de zoologia. Foi auxiliado pelos estudos anatômicos de Cuvier. Cuvier, por sua vez, contou com a ajuda da classificação proposta por Lamarck (MARTINS, 2007, p. 31).

A partir de 1795, Lamarck foi nomeado membro do *Instituto Nacional de Ciências e das Artes* e apresentou trabalhos sobre meteorologia e química.

Lamarck enfrentou muitos problemas durante a sua vida, principalmente financeiros, uma vez que a maioria de suas funções não era remunerada e ele tinha uma família numerosa. Os problemas de saúde também o acometeram. Suas duas últimas obras foram concluídas com o auxílio de sua filha Corneille, pois a partir de 1818, sua visão foi piorando progressivamente até que ele ficou completamente cego (MARTINS, 2007, pp. 33-34).

3.2 A TEORIA DA PROGRESSÃO DOS ANIMAIS DE LAMARCK

É importante ter em mente que a obra de Lamarck é extremamente vasta e abrangente e que ele desenvolveu diferentes estudos que estavam inter-relacionados. Ele se dedicou à botânica como vimos na seção anterior, zoologia, química, meteorologia, geologia e o que posteriormente foi chamado de paleontologia.

Como tutor do filho de Georges Louis Leclerc, Conde de Buffon (1788-1752), o acompanhou em diversas viagens, o que lhe deu a oportunidade de conhecer a Itália e outros países da Europa (MAYR, 1982, p. 343). Além disso, conheceu várias regiões na França, o que permitiu tomar contato com a flora francesa. Também estudou detalhadamente os fósseis da bacia de Paris.

Nem sempre Lamarck acreditou que as espécies pudessem se modificar ao longo do tempo. Antes de 1800 ele considerava que as espécies fossem fixas como a maior parte dos naturalistas da época e era conhecido principalmente por sua obra de botânica, a *Flore Française* (“Flora francesa”). Foi a partir do final do século XVIII que Lamarck mudou de ideia sobre as espécies quando foi designado para trabalhar com os chamados “animais inferiores,

²³ Nessa época, pouco se sabia sobre esses animais que Lamarck classificou e chamou de “animais sem vértebras” (invertebrados).

insetos e vermes” e a organizar as coleções de conchas fósseis e viventes de moluscos do *Museu de História Natural de Paris*. As evidências encontradas durante esta tarefa juntamente com outras que ele havia obtido, contribuíram para que ele admitisse a modificação das espécies ao longo do tempo (BURKHARDT, 1984, p. xxii; MARTINS, 2007, p. 31).

Entre 1800 e 1820²⁴, Lamarck produziu um volume bastante grande de publicações que incluíam livros, como por exemplo a *Philosophie zoologique* (figura 13) e *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (figura 14) ou o *Système analytique des connaissances positives de l’homme* (figura 15) e verbetes para os dicionários científicos da época. Nessas obras, ele defendeu que nem sempre houve vida na Terra e que a vida se iniciou na água e em lugares úmidos, a partir de forças de atração e repulsão, por geração espontânea. Os seres mais simples que se formaram no início e que deram origem a outros, estariam sempre se formando. A origem dos animais e vegetais era separada (MARTINS, 1994), portanto, eles constituíam ramos distintos. As modificações seriam extremamente lentas e graduais.

Devido à existência de uma tendência para o aumento de complexidade na natureza²⁵ formar-se-iam os grandes grupos taxonômicos que Lamarck chamou de “massas” constituindo uma escala de perfeição relacionada ao estado em que se encontravam os órgãos essenciais, aparelhos e sistemas (MARTINS, 1997a). Contudo, em suas extremidades, a escala seria ramificada devido à influência das circunstâncias a que estavam submetidos alguns grupos menores que Lamarck chamou de raças. Lamarck procurou explicar o aparecimento de novos órgãos ou partes a partir de mudanças nas circunstâncias e nos hábitos dos animais que fossem mantidas, no decorrer de muito tempo²⁶. Caso essas mudanças nas circunstâncias fossem mantidas as modificações permaneceriam. Caso contrário, órgãos ou partes tenderiam se atrofiar ou mesmo desaparecer²⁷. Isso levaria muito tempo. Para que as modificações que ocorressem durante a vida dos indivíduos fossem transmitidas a seus descendentes, seria necessário que ocorressem em ambos os progenitores (herança de caracteres adquiridos)²⁸. Ele não aceitava herança direta de mutilações. Essas seriam as quatro leis da progressão dos animais que Lamarck apresentou nas duas versões finais de sua teoria (MARTINS, 1997b).

Na época de Lamarck, a concepção de ciência admitida era o empirismo. No caso, Lamarck era seguidor de um tipo de empirismo defendido por Etienne Bonnot, Abbé de

²⁴ Sua última obra foi póstuma, publicada em 1830.

²⁵ Essa consistia na primeira lei de modificação das espécies.

²⁶ Essa seria a segunda lei que explicava o aparecimento de órgãos ou partes do corpo.

²⁷ Essa seria a lei do uso e desuso (terceira lei) responsável pela manutenção de ou não de órgãos ou partes do corpo.

²⁸ Essa seria a quarta lei.

Condillac (1714-1780). Assim, Lamarck deveria basear sua teoria em fatos obtidos pela observação. Era também permitido que ele fizesse hipóteses, desde que ficasse claro tratar-se de hipóteses (MARTINS & MARTINS, 1996b).

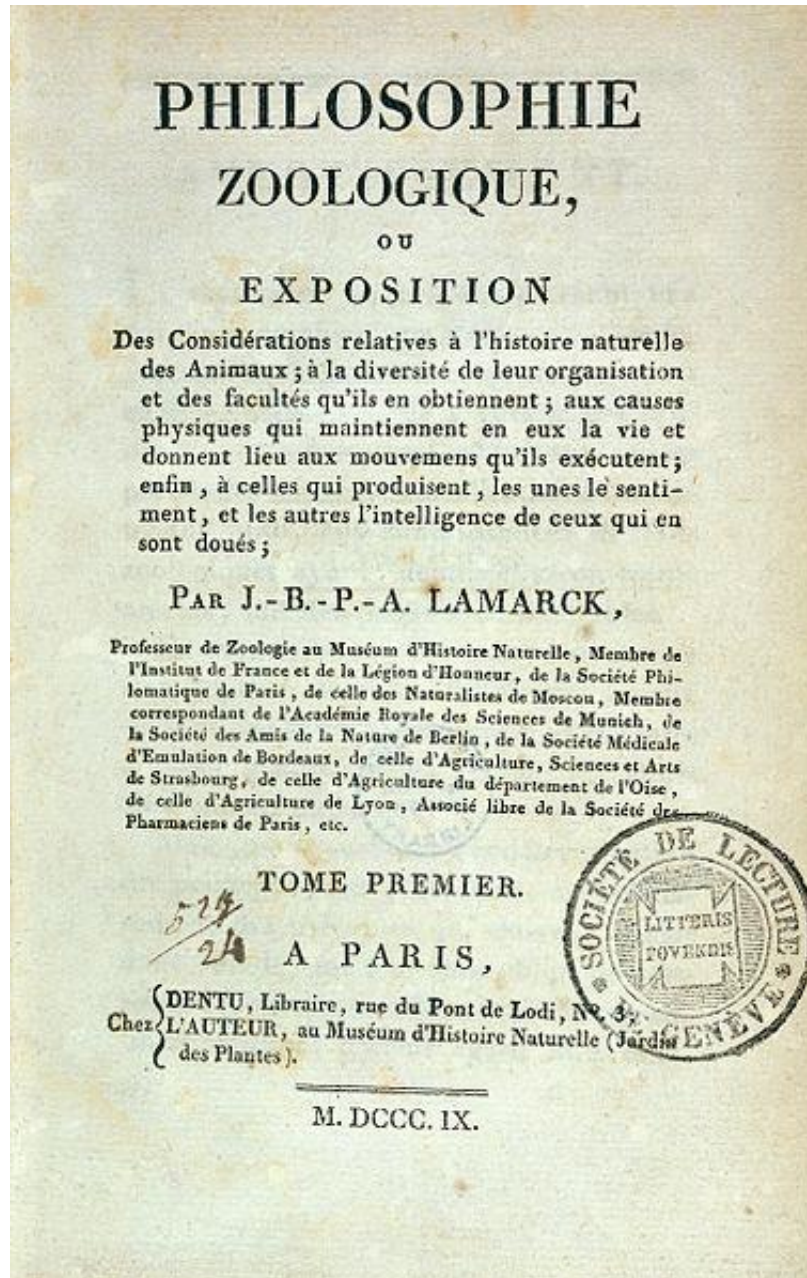


Fig. 13. Folha de rosto do primeiro volume da obra *Philosophie zoologique* (1809), de dois volumes.

Fonte: Disponível em:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Title_Page_of_Lamarck,_%22Philosophie Zoologique...,%22_Wellcome_L0033032.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Title_Page_of_Lamarck,_%22Philosophie_Zoologique...,%22_Wellcome_L0033032.jpg)

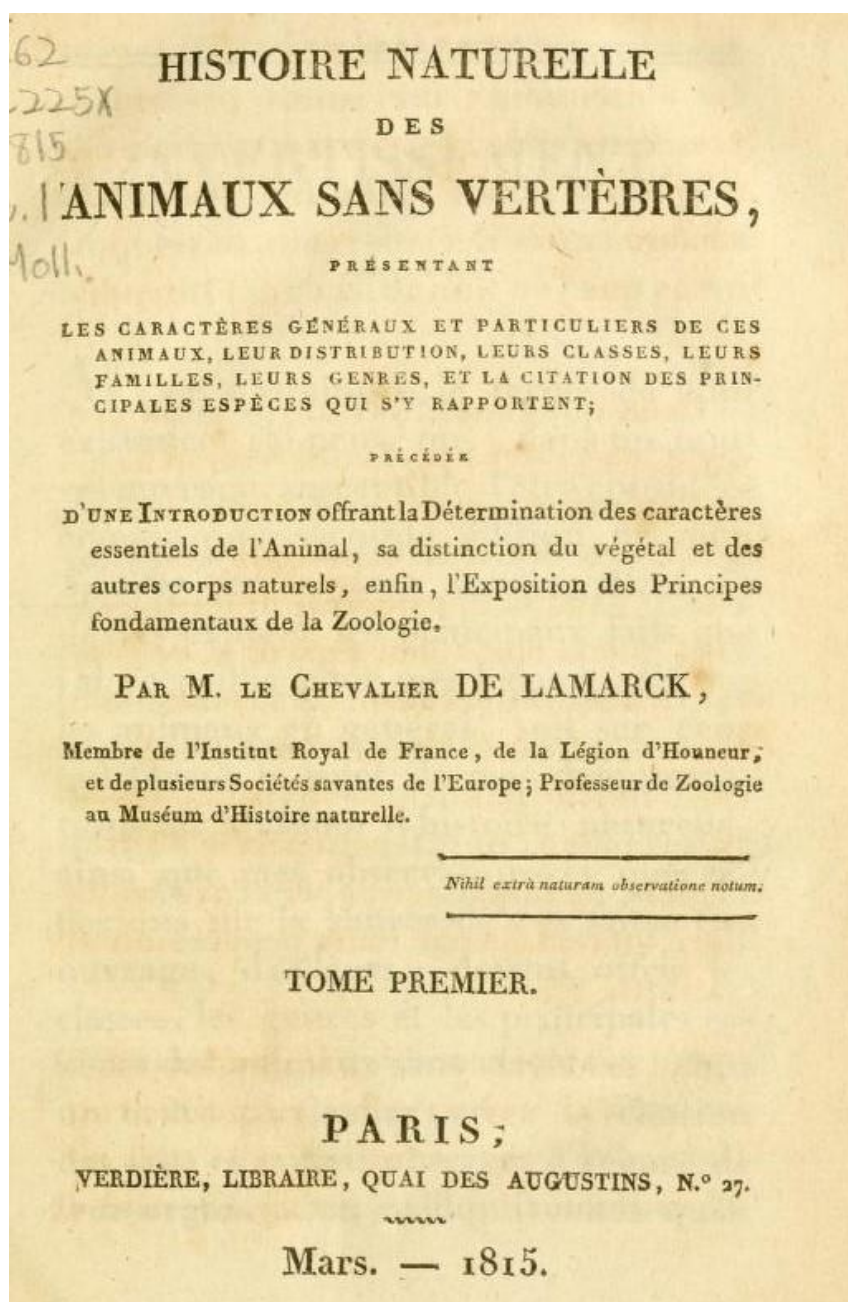


Fig. 14. Folha de rosto do primeiro volume do tratado *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (1815), de cinco volumes, obra em que Lamarck apresentou a versão final de sua teoria sobre a progressão dos animais.

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Histoire_naturelle_des_animaux_sans_vertèbres_1815.jpg

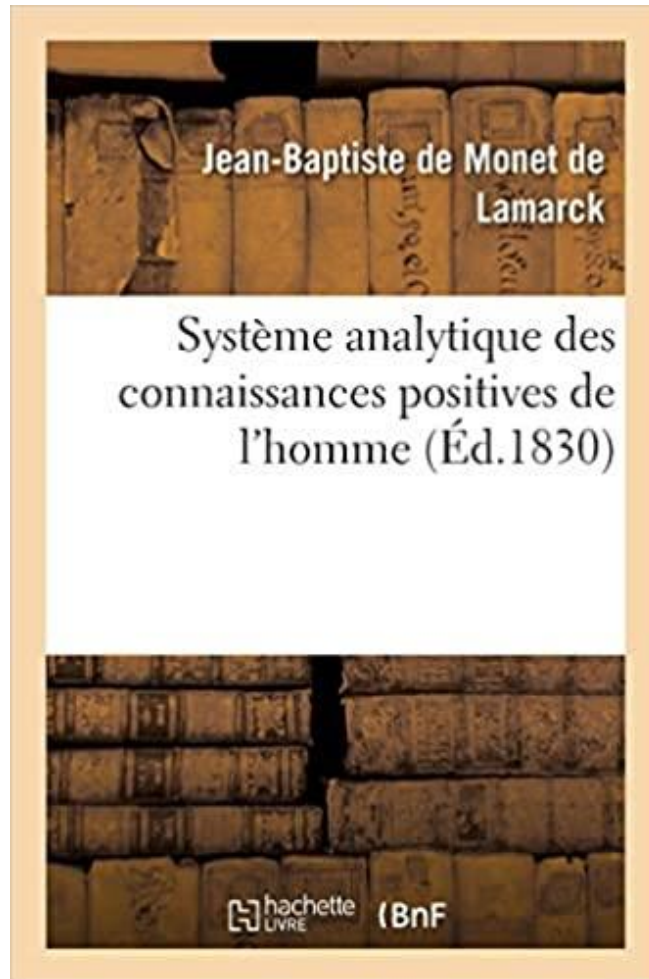


Fig. 15. Reimpressão da última obra de Lamarck, *Système analytique des connaissances positives de l'homme* (póstuma) publicada em 1830, onde ele apresentou uma síntese de suas ideias em vários domínios.

Fonte: LAMARCK, Jean-Baptiste. *Système analytique des connaissances positives de l'homme* [1830]. Paris: Hachette Livre Bnf, 2016.

3.3 A GEOLOGIA E A “PALEONTOLOGIA” DE LAMARCK

Entre 1763 e 1768 Lamarck passou cinco anos na região da Provence, em Antibes e Toulon. Durante esse período, escalou montanhas dos Alpes e também esteve em Mônaco. Como *Correspondente do Jardim e do Gabinete do Rei* e acompanhante do filho de Buffon, viajou até as regiões centrais da França à Alemanha e à Hungria onde visitou minas e coletou minerais e pôde observar os fenômenos geológicos (CAROZZI, 1964a, p. 294).

Lamarck tinha conhecimento dos aspectos geológicos da bacia de Paris onde as camadas de rochas sedimentares pareciam ser essencialmente horizontais. Contudo, ele não tinha conhecimento sobre os processos de formação das rochas ígneas (CAROZZI, 1964a, p. 295).

As concepções geológicas de Lamarck aparecem principalmente em sua obra *Hydrogéologie*, publicada em 1802, da qual temos disponível, mesmo nas melhores bibliotecas, inclusive no exterior, com raras exceções, somente uma versão inglesa, a *Hydrogeology* com uma introdução feita pelo historiador da geologia Albert Carozzi. No entanto, anteriormente à publicação da *Hydrogéologie*, as ideias de Lamarck sobre o assunto já tinham sido apresentadas na *Academia de Ciências de Paris* em 1799 e tinham relação com outros estudos que ele havia desenvolvido antes (MARTINS, 2007, p. 43). Ao contrário do *Discours sur les révolutions du globe* de Cuvier (1826), que teve várias reedições, a *Hydrogéologie* não foi além da primeira.

Em *Hydrogéologie*, Lamarck discutiu sobre a ação da água sobre a crosta terrestre e a origem da bacia oceânica. Ele acreditava que a bacia oceânica tinha sofrido um deslocamento o que era corroborado pela presença de fósseis de animais marinhos em regiões que não são atualmente fundo de mar, como planícies ou mesmo topo de altas montanhas: Em suas palavras:

[Os fósseis] são encontrados na parte externa da crosta terrestre em profundidades consideráveis; no fundo de poços e nas minas mais profundas. Resumindo, o número desses restos orgânicos marinhos é tão espantoso que seria difícil acreditar que o oceano pudesse apresentar uma vida tão rica. Isso torna evidente que cada parte desnuda da superfície do globo foi outrora fundo de mar, durante um tempo muito longo. (LAMARCK, 1802b, pp. 61- 62)

Negando a existência de um dilúvio universal, Lamarck explicou que o globo terrestre foi no passado remoto e continuava sendo submetido a mudanças, resultado da ordem essencial das coisas. Conseqüentemente, o oceano não tinha ficado restrito a um mesmo lugar. As partes secas, por sua vez sofriam mudanças em sua condição sendo sucessivamente invadidas e abandonadas pelo oceano. Assim, havia evidências de que massas enormes de água mudavam continuamente em relação a seu leito e limites. Porém essas mudanças eram extremamente lentas (PACKARD, 1901, p. 60).

Essas mudanças eram extremamente lentas. O tempo estava sempre à disposição da natureza²⁹. Em suas palavras: “Em nosso planeta, todos os objetos estão sujeitos a contínuas e inevitáveis mudanças que surgem da ordem essencial das coisas” (LAMARCK, [1802], 1964, p. 61). E acrescentou: “O tempo é insignificante e nunca [representa] uma dificuldade para a natureza” (*Ibid.*)

²⁹ Para Lamarck, a natureza era um conjunto de objetos metafísicos constituído por leis e movimento.

Para Lamarck, os depósitos de calcário que formam as montanhas não poderiam resultar de uma catástrofe universal. As únicas catástrofes que o naturalista poderia admitir são parciais ou locais que dependem de causas que agem em locais isolados como os distúrbios causados pelas erupções vulcânicas, os furacões, as inundações locais causadas por tempestades violentas etc. Ele deu vários exemplos de locais na França em que montanhas constituídas por calcário apresentavam fósseis³⁰ como amonitas (figura 16) e outras conchas de animais que viviam em regiões profundas do oceano (PACKARD, 1901, p. 63).



Fig. 16. Fóssil de um Amonita.

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Perisphinctes_ammonite.jpg

Lamarck tinha conhecimento dos fósseis do Cretáceo e daqueles encontrados na Bacia de Paris. Em relação aos fósseis de moluscos, ele discordava de Georges Cuvier (1769-1832) de que eles eram espécies extintas por grandes catástrofes. Ele explicou que, embora as conchas de espécies marinhas viventes fossem diferentes das formas fósseis, isso não “provava” que essas formas tivessem se extinguido. Elas poderiam ter se modificado no decorrer do tempo. Porém, ele não tinha ideia da sucessão geológica das formas orgânicas (PACKARD, 1901, p. 69).

Em oposição à visão das grandes catástrofes de Cuvier, Lamarck enfatizou que os fósseis são delicados e necessitam de um ambiente calmo para serem formados, o que não seria possível caso ocorressem grandes catástrofes. Ele assim se expressou:

³⁰ Lamarck definiu os fósseis como: restos de seres vivos, modificados pela longa permanência dentro da terra ou sob a água, mas cujas estruturas ainda podem ser reconhecidas” (LAMARCK, 1802b, p. 55).

Eu também poderia perguntar como a hipótese de uma catástrofe universal pode explicar a preservação de tantas conchas delicadas que ao menor movimento se quebrariam, mas que, no entanto, ocorrem em perfeitas condições entre outros fósseis? (LAMARCK, [1802b], 1964, p. 67)

Em 1802, Lamarck publicou sua primeira memória sobre conchas fósseis em que ele descreveu diversas espécies novas. Depois disso, ele retomou o assunto ao qual se dedicou até 1806. Ele iniciou comentando que as formas fósseis encontradas eram semelhantes àquelas que viviam nos oceanos de regiões tropicais. Ele supôs que esses organismos não podiam ter vivido nos climas dos locais onde haviam sido encontrados como no caso de *Nautilus pompilius* (figura 17) que vivia em oceanos de países quentes. Ele concluiu que deveria ter havido mudanças climáticas nas regiões da Terra. Essas mudanças teriam ocorrido em intervalos de 3 a 4 milhões e anos. Essa duração seria muito pequena em relação a todas as modificações que teriam ocorrido na superfície terrestre (PACKARD, 1901, p. 70). Ele considerava que a idade da Terra era muito superior a que era admitida na época. Nas palavras de Lamarck: “Oh! Quão antigo é o globo terrestre, e quão estreitas são as ideias daqueles que lhe atribuem a idade de 6000 anos” (LAMARCK, [1802b] 1964, p. 75).



Fig. 17: Fóssil de *Nautilus pompilius*

Fonte: Disponível em:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nautilus_pompilius_\(YPM_IZ_022690\)_001.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nautilus_pompilius_(YPM_IZ_022690)_001.jpeg)

Em sua *Mémoire sur les fossiles des environs de Paris* (“Memórias sobre os fósseis dos arredores de Paris”), Lamarck (1802a) enfatizou que a determinação das características gerais e específicas dos animais cujos fósseis foram encontrados nas várias regiões do continente, era muito importantes tanto para a história natural como um todo como para a geologia (LAMARCK, 1802a; PACKARD, 1901, p. 228).

A água, conforme Lamarck, teve um papel extremamente importante na formação da crosta terrestre. Por sua ação erosiva, teria esculpido as montanhas. Porém, ele fazia uma distinção entre a ação dos rios, de tempestades, da neve derretida e das águas do oceano. Os rios teriam trazido o material das terras mais altas para as terras mais baixas, o que fez com que as planícies se elevassem gradualmente. Algumas montanhas foram formadas pela ação da chuva e de rios. (PACKARD, 1901, p. 60).

De acordo com Packard (1901, p. 55), Lamarck provavelmente se interessou pelo debate entre vulcanistas e netunistas, tendo visitado Freiberg, onde vivia Abraham Gottlob Werner (1750-1817), em 1771. No entanto, não se sabe se ele teve contato com Werner ou não. Como as conferências de Werner se iniciaram somente em 1775, é pouco provável que Lamarck tivesse conhecimento da posição de Werner em relação aos estratos e fósseis que neles se encontravam.

Carozzi comenta que Lamarck não se envolveu no debate entre netunistas e plutonistas que ocorreu na França na época da publicação de *Hydrogéologie*, apesar de ter tido contato com dois plutonistas franceses bastante ativos: Barthélemy Faujas de Saint Fond (1741-1819) e Nicolas Desmarest (1725-1815). Faujas de Saint-Fond, colega de Lamarck no *Museu de História Natural de Paris*, havia publicado *Description des volcans du Vivarais et du Velay* (“Descrição dos vulcões de Vivarais e do Velay”), em 1778. Desmarest, que era membro da *Academia de Ciências de Paris*, na mesma época de Lamarck, por sua vez, em seu estudo sobre os vulcões da região de Auvergne, havia mostrado que a origem do basalto é ígnea (CAROZZI, 1964a, p. 295).

Apesar de não admitir a existência de um oceano universal como Werner, vários aspectos das concepções geológicas de Lamarck tais como o papel das águas do oceano na construção da crosta terrestre e a origem dos granitos e pórfiros (LAMARCK, 1802b, p. 20; CAROZZI, 1964a, p. 295) podem ser considerados netunistas. Contudo, ele também admitia alguns elementos encontrados nas concepções plutonistas como a influência dos vulcões submarinos.

Embora ao que tudo indica, Lamarck não tivesse tido contato com as propostas de Hutton e Playfair na ocasião da publicação de *Hydrogéologie*, ele apresentou ideias próximas às deles como o uniformitarismo, ao considerar que as únicas catástrofes que o naturalista podia admitir seriam as elevações locais produzidas por erupções vulcânicas, furacões, enchentes locais, fortes tempestades, de modo semelhante ao que podia ser observado na natureza (CAROZZI, 1964a, p. 296).

Como Lamarck apresentou tanto elementos plutonistas como netunistas em sua proposta e sua teoria sobre a formação dos minerais³¹ não se encaixasse em nenhuma dessas escolas, como sugere Carozzi (1964b, p. 6), nos deparamos com a dificuldade em inclui-lo em uma delas. Talvez Lamarck, por admitir explicações que faziam parte das duas visões, tenha preferido não se manifestar por nenhuma delas em sua teoria.

Na época em que Lamarck viveu não havia um acordo entre os estudiosos sobre as causas dos estratos geológicos; a história geológica da Terra; se no passado havia seres vivos diferentes dos viventes ou se tinha havido uma transformação desses seres vivos. Lamarck sabia da existência dos estratos (LAMARCK, 1802b, p. 61): “Em muitos lugares os fósseis enterrados no solo estão dispostos em camadas que se estendem por diversas milhas ou mesmo milhares de milhas”, mas não utilizou a estratigrafia para fundamentar sua teoria (MARTINS, 2020, p. 591).

Charles Lyell no *Principles of geology* criticou bastante Lamarck argumentando que a teoria do desenvolvimento progressivo da vida orgânica, das formas simples para as mais complexas, não estava apoiada no registro fóssil (COLEMAN, 1968, p. 329).

Um aspecto importante presente na *Hydrogéologie* foi a noção da imensidão do tempo geológico em relação às concepções encontradas na época. Mas vários tipos de tempo podem ser encontrados na teoria de Lamarck. No que se refere ao surgimento da vida e suas transformações, o tempo é dinâmico. A vida está sempre surgindo (geração espontânea) e os animais estão sempre mudando embora essas mudanças sejam extremamente lentas. O tempo é também ativo já que existe um dinamismo interno no que se refere ao surgimento da vida e suas transformações. Por outro lado, o tempo produz mudanças contínuas, sem saltos, nos seres vivos (MARTINS & BAPTISTA, 2007, pp. 292-293).

Assim, podemos dizer que a transformação das espécies de forma lenta e gradual associada à lentidão das mudanças geológicas bem como a própria concepção de tempo em

³¹Lamarck acreditava que os minerais tinham sido formados a partir da degradação de restos orgânicos.

Lamarck (figura 18), constituem uma visão uniformitarista, opondo-se ao “catastrofismo” de Cuvier.

De acordo com Packard (1901), as principais ideias de Lamarck sobre o assunto podem ser assim resumidas:

- (a) A grande duração do tempo geológico
- (b) A existência da vida animal em vários períodos geológicos sem extinções totais ou repentinas criações de novos grupos
- (c) O ambiente físico de um modo geral se mantendo praticamente o mesmo, mas com mudanças graduais, contínuas não catastróficas. Essas mudavam o habitat e conseqüentemente os hábitos dos seres vivos havendo uma modificação lenta das formas vivas (PACKARD, 1901, p. 69).



Fig. 18: Estátua de Lamarck que se encontra na saída do Museu de História Natural de Paris.

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:P1090469_Paris_V_jardin_des_Plantes_statue_de_Lamarck_rwk.jpg

Pode-se dizer que parte das ideias geológicas de Lamarck não é aceita atualmente. Por exemplo, a formação das montanhas (esculpidas na crosta terrestre pela ação erosiva da água) ou a origem dos minerais (a partir da degradação de restos orgânicos). Porém, tais ideias eram plausíveis no contexto de sua época fazendo parte de discussões que ocorriam no meio científico. Por outro lado, aspectos como sua visão uniformitarista sobre os processos naturais, a lentidão das modificações na crosta terrestre e sua relação com a lentidão na transformação das espécies em um processo gradual, fazem parte da ciência atual.

Como vimos, nas obras em que Lamarck tratou especificamente dos fósseis de moluscos marinhos com conchas ou em *Hydrogéologie*, ele os relacionou às mudanças geológicas e argumentou que sua presença contrariava a hipótese de uma catástrofe universal ou de grandes revoluções que destruiriam tudo. Percebeu que muitos fósseis eram semelhantes às formas que viviam no presente e deu alguns exemplos de formas fósseis com correspondentes viventes. Porém, nas obras em que apresentou sua teoria da progressão dos animais, ele não discutiu em detalhes sobre a relação entre os fósseis e as mudanças geológicas, a principal causa das mudanças das espécies e nem deu exemplos de formas vivas correspondentes às fósseis que corroborariam a sua teoria. Nessas obras, ele destacou principalmente as relações entre mudanças nas circunstâncias e mudanças nos animais (MARTINS, 2020, p. 586).

Pode-se dizer que a teoria geológica de Lamarck foi fundamental para o entendimento de sua teoria da progressão dos animais, conferindo as bases para a mesma, pois a seu ver, são as modificações no ambiente que levam os seres vivos a adotarem novos hábitos que levarão à modificação de partes ou órgãos e no decorrer de muito tempo levarão à formação de novas espécies (CAROZZI, 1964a; MARTINS, 2007, p. 184; MARTINS & BAPTISTA, 2007, p. 279). As mudanças geológicas seriam muito lentas. Essas mudanças causariam as mudanças nas espécies que também seriam lentas e graduais. A presença de fósseis de animais marinhos no alto de montanhas mostra que a Terra sofreu mudanças, inclusive climáticas. Essas mudanças estão relacionadas à sua segunda lei sobre a transformação dos animais (MARTINS, 1997).

3. 4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

A pesquisa desenvolvida mostrou que os estudos geológicos de Lamarck (figura 18) contribuíram para que ele adotasse uma visão uniformitarista da natureza. Essas mudanças seriam lentas e graduais assim como as mudanças das espécies. Por outro lado, seus estudos

com formas fósseis e atuais de moluscos no Museu de História Natural de Paris, fizeram com que ele admitisse que em muitos casos não haveria extinção, mas que essas espécies teriam se modificado no decorrer de muito tempo. Esses estudos juntamente do trabalho em comparar sistemas, aparelhos e órgãos essenciais de grandes grupos taxonômicos permitiram com que ele construísse uma escala de perfeição constatando a existência de uma progressão dos grupos mais simples para os mais complexos, sendo provavelmente, a ordem seguida pela natureza.

Se por um lado, podemos afirmar que a visão de Lamarck era uniformitarista, não podemos classifica-lo como netunista ou plutonista, porque como vimos, sua teoria tem aspectos de ambas as visões. Aqui nos deparamos com a dificuldade, que surge muitas vezes, em aplicar rótulos aos estudiosos

CAPÍTULO 4

DARWIN, GEOLOGIA E A TRANSMUTAÇÃO DAS ESPÉCIES

Como vimos no Capítulo 2 desta tese, antes de iniciar viagem do Beagle (1831), Charles Robert Darwin (1809-1882) já se interessava pela geologia. Isso aconteceu principalmente por intermédio dos professores com quem interagiu em Edinburgh e em Cambridge. Em ambas as ocasiões, ele teve contato tanto com representantes do netunismo como do plutonismo. Neste capítulo, o foco de nossa atenção será o período da viagem do Beagle e também o que veio depois, até a publicação do *Origin of species*. Procuraremos averiguar qual era a posição de Darwin em relação aos debates que aconteciam na geologia nos anos que se seguiram e de que modo a geologia e a paleontologia contribuíram para a sua teoria da transmutação das espécies. Iniciaremos apresentando algumas informações sobre Darwin.

4.1 DARWIN: CARREIRA E INTERESSES PROFISSIONAIS

Darwin foi o quinto filho de Robert Waring, médico conceituado em Sherewsbury, e de Susannah Wedgwood, filha de Josiah Wedgwood, proprietário das porcelanas Wedgwood. A família Darwin caracterizava-se pela qualidade intelectual de seus membros, prosperidade bem como pela capacidade profissional e amplos interesses culturais (BEER, 1981, p. 565).

Com a morte prematura da mãe, quando Darwin tinha apenas oito anos, o início de sua educação ficou sob a responsabilidade de suas irmãs mais velhas. Em 1817, ele passou a frequentar uma escola em Shrewsbury, onde foi considerado lento no aprendizado. No ano seguinte, ingressou na *Shrewsbury School*. Posteriormente, se queixou de que o período escolar tinha constituído para ele um espaço em branco, uma lacuna. Isso foi de certa forma injusto, pois certamente, o estudo dos Clássicos lhe foi útil posteriormente. Seu professor, o Dr. Samuel Butler, o repreendeu por desperdiçar seu tempo com experiências químicas. O pai de Darwin o censurou por se importar apenas em caçar, cuidar de cães e apanhar ratos, além de ser uma desgraça para si mesmo e para a família. Assim, em 1865, Darwin foi enviado para estudar medicina na Universidade de Edinburgh em 1827 (BEER, 1981, p. 565).

Em Edinburgh, Darwin assistiu aulas sobre matéria médica, farmácia, química, anatomia, que ele considerou muito maçantes. Todavia, o que lhe causou mais desconforto foi presenciar cirurgias cujos pacientes não tinham recebido anestesia. Este fato, particularmente,

o fez desistir da carreira médica (BEER, 1981, p. 565). Porém, em Edinburg, ele também teve boas experiências como a amizade com o zoólogo Robert Grant (1793-1874), que concordava com as ideias de Lamarck sobre a transmutação das espécies, as excursões geológicas com Robert Jameson (1774-1854) e as visitas a Forth para coletar animais marinhos (BEER, 1981, p 565).

Com o intuito de buscar outro caminho para Darwin, seu pai o enviou para Cambridge para que se tornasse um clérigo. Nessa época, Darwin conheceu John Stevens Henslow (1795-1861), que se tornou o seu grande amigo e, por sua vez, despertou em Darwin o interesse pela história natural (BEER, 1981, p. 565) e o apresentou a Adam Sedgwick (1785-1873) com que Darwin fez a excursão ao norte de Wales (GEIKE, 1909, p. 8), conforme mencionamos no Capítulo 2 desta tese.

Após obter o título acadêmico em Cambridge, em 1831, Darwin retornou para casa e lá recebeu um convite para se juntar à tripulação do navio de reconhecimento H.M.S Beagle, sob o comando de Robert Fitzroy (1805-1865), para exercer a função de naturalista de bordo. O objetivo da viagem era fazer o mapeamento da costa da Patagônia, Terra do Fogo, Chile e Peru. Além disso, incluía visitar as ilhas do Pacífico (BEER, 1981, pp. 565-566).

Darwin tendeu a aceitar o convite de imediato, mas seu pai se opôs. Com a intersecção do tio Josiah Wedgwood II, o pai de Darwin acabou concordando e ele embarcou no HMS Beagle, que zarpou em 27 de dezembro de 1831 (BEER, 1981, p. 566).

A viagem se estendeu por cinco anos e segundo Gavin de Beer (2007, p. 566) foi o evento mais importante na vida intelectual de Darwin e da história da ciência biológica. Darwin voltou ciente da importância das evidências encontradas no decorrer da viagem e quase convencido de que as espécies não eram as mesmas desde o seu surgimento, mas mudavam no decorrer do tempo. Além disso, passou a duvidar das Escrituras como um guia da história da Terra e do ser humano, tornando-se gradualmente agnóstico (BEER, 1981, p. 566).

Em janeiro de 1839, Darwin se casou com a prima Emma Wedgwood (1808-1896) e a princípio o casal viveu em Londres. Entretanto, a saúde de Darwin tornou-se frágil logo após o casamento e o casal se mudou para o campo, para a mansão Down localizada no vilarejo de Downe em Kent, a quinze milhas³² de Londres (BEER, 1981, p. 566).

Com a sua saúde debilitada, a princípio por um grande desconforto intestinal e fadiga que os médicos não conseguiam diagnosticar, a rotina de trabalho de Darwin se restringiu a quatro horas por dia. Ele fazia caminhadas pelo jardim, visitas às estufas de plantas, passeios

³² Vinte e quatro quilômetros.

pela vizinhança ou cavalgadas em um pônei. Entre essas atividades descansava no sofá, lendo um romance. Após o jantar ouvia piano e se deitava cedo (BEER, 1981, p. 566).

Como os médicos não conseguiam descobrir alguma causa orgânica para o que Darwin sentia, a hipótese de que ele fosse hipocondríaco passou a ser considerada. Mais recentemente, alguns psiquiatras alegaram que ele tinha um comportamento neurótico, o que não foi confirmado. Entretanto, alguns dos sintomas que ele apresentava são compatíveis com a doença de Chagas, descoberta posteriormente em 1909. Talvez Darwin tivesse sido picado por um inseto (*Tryatoma infestans*) que é vetor do *Trypanosoma cruzi* e contraído a doença de Chagas quando esteve nos Pampas, na Argentina, durante a viagem do Beagle (BEER, 1981, p. 566).

Darwin e Emma tiveram dez filhos. Três deles faleceram na infância, o que deixou Darwin muito angustiado (BEER, 1981, p. 566) e pode ter contribuído para alguns sintomas que ele apresentou.

Durante sua vida, Darwin escreveu várias obras. A mais conhecida é a *Origin of species* (1859), que teve seis edições. Nela, ele apresentou sua teoria sobre a transmutação das espécies. Explicou que esta ocorre principalmente através de um processo lento e gradual. Ele procurou apresentar evidências de que a evolução é um fato e que acontece devido a causas naturais como a seleção natural que atua na natureza selecionando as leves variações, preservando as que forem úteis. Os indivíduos mais adaptados são vitoriosos na luta pela existência e deixam descendentes. Além da seleção natural, que seria o principal meio de modificação das espécies, havia a seleção sexual, a herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso de órgãos ou partes, dentre outros meios de modificação da espécie (MARTINS, 2006, pp. 263-264).

No *Origin* (figura 19), Darwin também sugeriu estudos que poderiam trazer mais esclarecimentos sobre a origem das espécies como, por exemplo, os estudos dos animais e plantas sob domesticação, as afinidades mútuas entre os seres vivos, os estudos embriológicos, da distribuição geográfica e da sucessão geológica. Ele também se serviu desses estudos para compor sua teoria (DARWIN, 1872, Introduction, p. 2).

Como nesta tese estamos tratando sobre o papel dos estudos e evidências geológicas na teoria de Darwin, iremos nos concentrar nesse aspecto.

THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE

PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE
FOR LIFE.

BY CHARLES DARWIN, M.A., F.R.S., &c.

SIXTH EDITION, WITH ADDITIONS AND CORRECTIONS.

(ELEVENTH THOUSAND.)

LONDON :

JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

1872.

Fig. 19. Folha de rosto da sexta edição da obra *The origin of species* (1872).

Fonte: DARWIN, Charles Robert. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life** [1859]. 6th edition. London: John Murray, 1872.

4.2 DARWIN E OS ESTUDOS GEOLÓGICOS NA VIAGEM DO BEAGLE

Antes da partida do Beagle, Darwin adquiriu várias obras para serem lidas durante a viagem como por exemplo, o *Manual of mineralogy* (“Manual de mineralogia”) (1821), de R. Jameson; *Principles of geology* (“Princípios de geologia”) (1830), de Charles Lyell; *Illustrations of the Huttonian theory of the Earth* (“Ilustrações da teoria da Terra de Hutton”) (1802), de John Playfair; e o *Geological manual* (“Manual geológico”) (1831), de Henry de la Beche. Essas obras contribuíram para complementar o conhecimento que ele havia adquirido anteriormente em Edinburgh e Cambridge (SECORD, 1991, p. 150).

Desde o início da viagem, Darwin prestou muita atenção nos aspectos geológicos e rapidamente foi ganhando experiência. Isso transparece em sua correspondência e no diário que elaborou (GEIKE, 1909, p.11).

Quando Darwin iniciou a viagem do Beagle (figura 20), vários estudiosos consideravam que a superfície da Terra, após ter sofrido várias revoluções, teria sido coberta pela água, e depois se fixado e tornado estável. Contudo, seu estado anterior teria sido muito diferente. Alguns geólogos como William Buckland³³ (1784-1856), William Daniel Conybeare³⁴ (1787-1857) e Adam Sedgwick³⁵ (1785-1873) que eram membros da *Geological Society of London* (Sociedade Geológica de Londres), pensavam assim (BEER, 1981, p. 567). Para Buckland, “um dilúvio teria varrido dos continentes os quadrúpedes, estraçalhado os estratos sólidos e reduzido a superfície a um estado de ruínas” (BUCKLAND, 1823, p. 224, *apud*, GOULD, 1965, p. 223). Entretanto, como vimos no Capítulo 2 da presente tese, Charles Lyell em 1830 apresentou uma visão diferente nos *Principles of geology*.

³³ Buckland deixou contribuições para a geologia e paleontologia. Descreveu um fóssil de dinossauro que ele chamou de *Megalosaurus*. Ele interpretou o relato do *Gênesis* como dois episódios de criação separados por um longo tempo, procurando reconciliar o relato das *Escrituras* com os achados da geologia. Inicialmente ele acreditava no dilúvio bíblico, mas depois acatou a teoria da glaciação de Louis Agassiz. Disponível em: <https://making-science.royalsociety.org/s/rs/people/fst00048325>

³⁴ Conybeare é conhecido por seu trabalho sobre a estratigrafia do Carbonífero na Inglaterra e em Wales.

³⁵ Adam Sedgwick iniciou suas pesquisas sobre as rochas mais antigas de Wales em 1831. Esse estudo fazia parte de um projeto cujo objetivo era produzir um tratado sobre as rochas de Wales e dava continuidade ao trabalho desenvolvido por Buckland, Conybeare, George Bellas Greenough, John Hailstone e Henslow. Nessa expedição, ele foi acompanhado por Darwin e eles visitaram cavernas de calcáreo situadas acima do Rio Elwy em Cefn. Na caverna maior haviam sido encontrados fósseis de vertebrados, incluindo dentes de rinocerontes (SECORD, 1991, pp. 145-146).

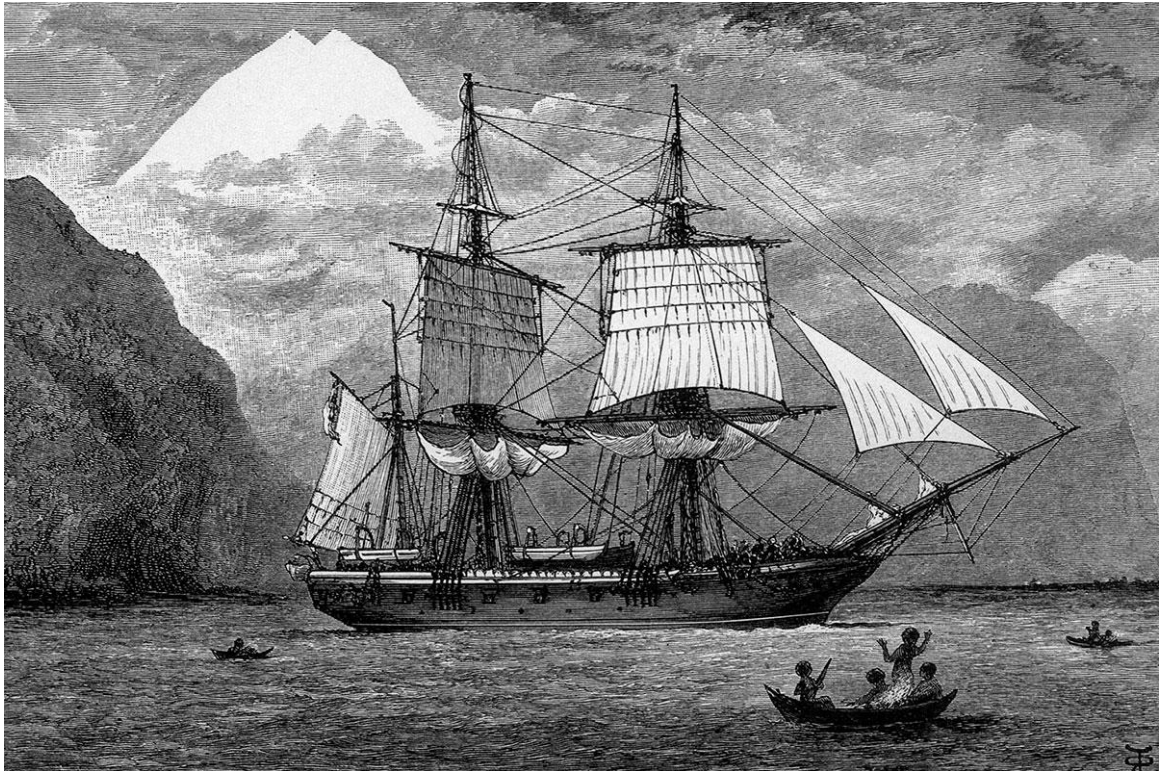


Fig. 20. *HMS Beagle*

Fonte: Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/PSM_V57_D097_Hms_beagle_in_the_straits_of_magellan.png

Lyell acreditava que as camadas (estratos) no fundo do oceano tinham se elevado lenta e gradualmente durante um imenso período de tempo e não por uma única convulsão como pensavam seus colegas. Ao estudar os vulcões da Sicília, ele encontrou estratos que tinham se elevado recentemente nas imediações dos vulcões e em áreas sujeitas a furacões. Além disso, ele mostrou que a ação ordinária da água, ondas do oceano explicavam, erosão da terra, deposição de sedimentos e a longa e contínua ação dos vulcões e furacões, era suficiente para elevar continentes e cordilheiras. (BEER, 1981, p. 567). Como vimos também no Cap. 2 da presente tese, Darwin tomou contato com essas ideias de Lyell durante a viagem do Beagle, conforme relatou em sua autobiografia publicada cinco anos após a sua morte por seu filho Francis Darwin (DARWIN, 1887, p. 77).

Nas Ilhas de Cabo Verde (figura 21), Darwin observou que as rochas mais antigas da costa, eram de origem vulcânica. Sobre elas havia uma camada de calcário de dezoito metros acima do nível do mar e com seis metros de espessura com conchas de organismos marinhos

datadas do Terciário. Acima do calcário, havia rochas vulcânicas que alteraram o calcário, o que seria uma evidência da ocorrência de metamorfismo (BEER, 1981, p. 567).



Fig. 21. Mapa do Arquipélago de Cabo Verde.

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cabo_Verde_regions_map.png

Darwin comentou que ao examinar St. Jago (figura 22), uma das ilhas do arquipélago de Cabo Verde, percebeu a superioridade na maneira pela qual Lyell tratava a geologia em relação aos outros autores (GEIKE, 1909, p. 12; SECORD, 1991, p. 151). O aspecto que mais chamou a sua atenção nessa ilha foi uma faixa horizontal de rocha branca com cerca de trinta ou quarenta pés³⁶ acima da linha da costa moderna. Como essa camada de rocha branca teria se mantido intacta, em sua posição atual? Como uma ilha inteira poderia ter sido erguida sem que os estratos se quebrassem? (SECORD, 1991, p. 151).

³⁶ Entre 9 e 12m.



Fig. 22. St. Jago (Santiago)

Fonte: Disponível em:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BARROW\(1806\)_p098_PORTO_PRAYA,_ISLAND_OF_ST.JAGO_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BARROW(1806)_p098_PORTO_PRAYA,_ISLAND_OF_ST.JAGO_(cropped).jpg)

Na América do Sul, Darwin ao comparar lavas de origem vulcânica com rochas ígneas dos Andes, percebeu que eram muito similares. Os minerais que compunham o granito e as lavas eram semelhantes sob muitos aspectos, o que sugeria a existência de uma série perfeita de gradação entre granitos e lavas semelhantes ao vidro. Ele percebeu também que os planos de clivagem nas ardósias eram paralelos à direção de grandes eixos em que a elevação tinha ocorrido (BEER, 1981, p. 567).

Durante a viagem, Darwin presenciou um terremoto que devastou Concepción (figura 23) e que produziu uma elevação no solo. Pôde também relacionar a elevação do solo e a atividade vulcânica nas redondezas, pois na época desse terremoto vários vulcões dos Andes entraram em atividade, assim como um novo vulcão entrou em erupção sob o mar (BEER, 1981, p. 567).

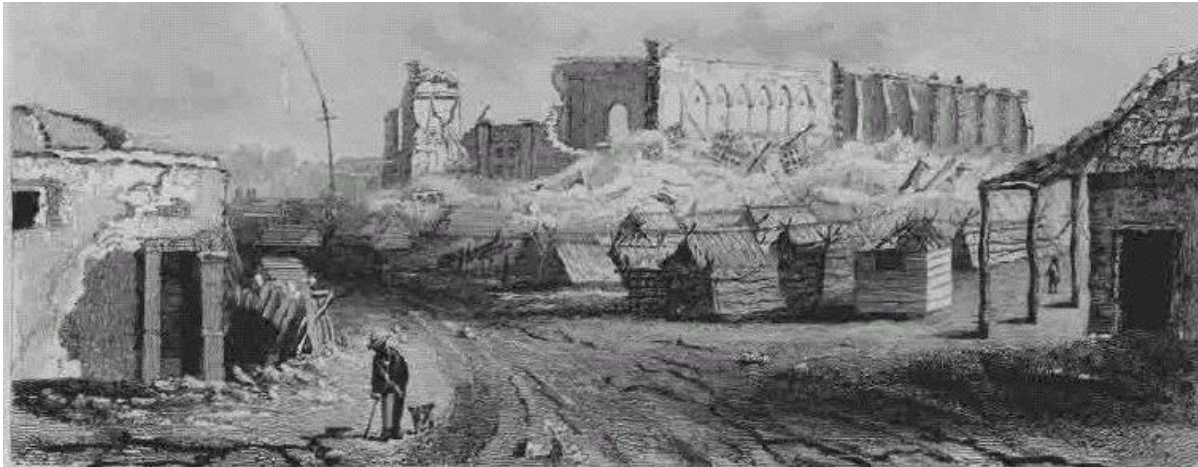


Fig. 23. Terremoto na cidade de Concepción no Chile, em 1835

Fonte: Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Remains_of_the_Cathedral_of_Concepcion_-_1835.png

Darwin considerou que o vulcanismo e os terremotos estavam intimamente relacionados e que eram resultado de movimentos do material em estado de fusão no interior do globo. (GEIKE, 1909, p. 30).

Darwin percebeu que as conchas encontradas em leitos de até 1300 pés³⁷ pertenciam a espécies ainda vivas e semelhantes às que viviam nos oceanos. Ele constatou que essas elevações eram mais recentes, de modo análogo às elevações que Lyell havia observado na Sicília (BEER, 1981, p. 568).

Outra importante observação de Darwin foi uma floresta fossilizada nos Andes, a uma altitude 7000 pés.³⁸ Os troncos das árvores se projetavam a vários pés perpendicularmente ao estrato em que estavam fixados. Esse estrato estava recoberto por depósitos sedimentares alternados com lavas vulcânicas. Isso foi um indício de que as árvores foram enterradas a uma profundidade muito grande abaixo do nível do mar, conforme os depósitos foram sendo acumulados e posteriormente erguidos até a altura atual. Isso sugeria que havia ocorrido uma longa deposição e elevação dos estratos (BEER, 1981, p. 568).

Essas observações levaram Darwin a ter uma ideia sobre as condições em que ocorreu o acúmulo dessas camadas contendo fósseis. Levaram-no também a acreditar que o oceano estava próximo à parte continental cuja erosão produziu o material encontrado nos depósitos (BEER, 1981, p. 568).

³⁷ Cerca de 396m de altura.

³⁸ Cerca de 2133m

A visita aos Andes também levou Darwin a perceber que deveria ter ocorrido uma mudança climática na região, tanto em relação ao passado geológico como no presente. Casas abandonadas pelos índios em lugares inabitáveis onde a água estava ausente e a terra era infértil eram indícios dessa mudança climática. Ele desenvolveu mais essa linha de raciocínio posteriormente em seu trabalho sobre os recifes de corais. (BEER, 1981, 568).

Na região da Patagônia, Darwin pôde coletar fragmentos de ossos de quadrúpedes fósseis, o *Mastodon*³⁹ (figura 24) e o *Megatherium*⁴⁰ (figura 25), dentre outros. Ele percebeu a semelhança entre essas formas e as viventes. Ele foi auxiliado na descrição do material fóssil coletado por Richard Owen (1804-1892) (HERBERT & NORMAN, 2009, p. 133).

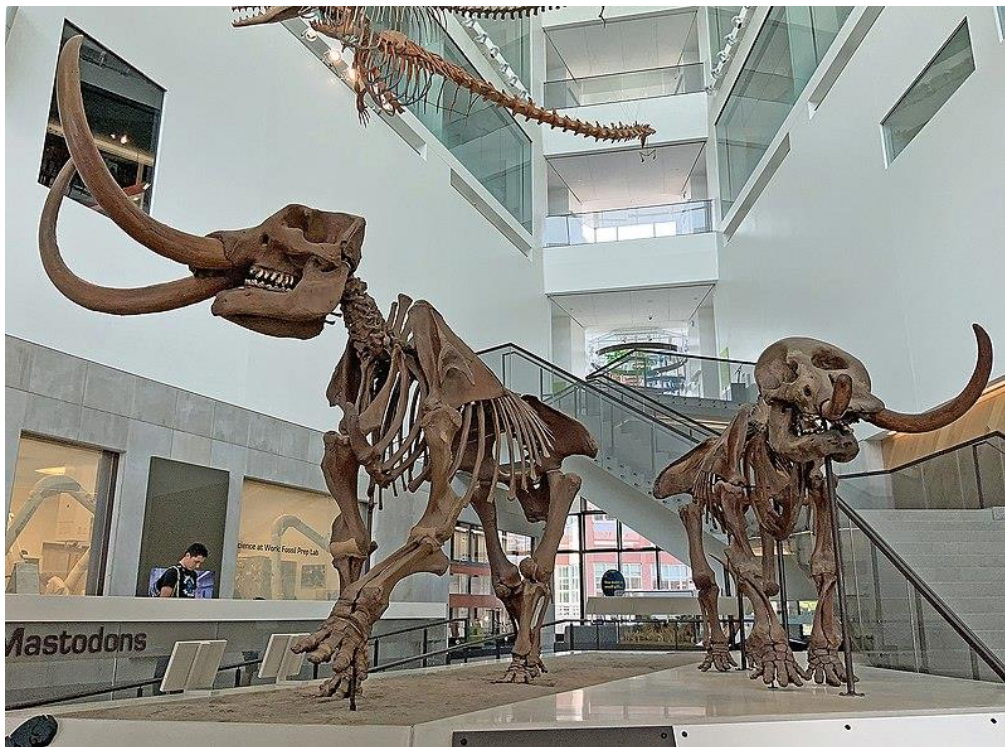


Fig. 24. Esqueletos de mastodonte macho (à esquerda) e fêmea (à direita) expostos no Museu de História Natural na Universidade de Michigan.

Fonte Disponível em::

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Male %26 female mastodons, front.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Male_%26_female_mastodons_front.jpg)

³⁹ Pertencente ao gênero extinto *Mammot* (família Mammotidae) os mastodontes habitaram a América até sua extinção no final do Pleistoceno. A família Mammotidae é intimamente relacionada com a família proboscídana Elephantidae (mamutes e elefantes).

⁴⁰ Também conhecida como preguiça gigante, esses grandes mamíferos foram abundantes na megafauna do Pleistoceno.



Fig. 25. Esqueleto de *Megatherium* exposto no Museu de História Natural de Paris.

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Megatherium_americanum_complete.JPG

Durante a viagem do Beagle, Darwin pôde observar o intemperismo, a cristalização da lava e, o efeito do calor na formação das rochas. Pôde ter uma ideia da mudança do nível do mar, terremotos, vulcanismo e da elevação dos continentes. Quando retornou à Inglaterra, apresentou os resultados de suas pesquisas geológicas na *Geological Society of London* (HERBERT & NORMAN, 2009, pp. 131-132). Em sua apresentação, Darwin expôs suas ideias relacionadas à elevação continental (GEIKE, 1909, p. 29).

Após ter retornado à Inglaterra, na década de 1840, Darwin publicou três obras, em grande parte, com base nas evidências que havia encontrado na viagem do Beagle. Nelas se dedicou aos aspectos geológicos: *Coral reefs* (1842) (figura 26); *Volcanic islands* (1844) e *Geological observations on South America* (1846). Trataremos brevemente sobre alguns aspectos encontrados na primeira delas (DARWIN, 1842).

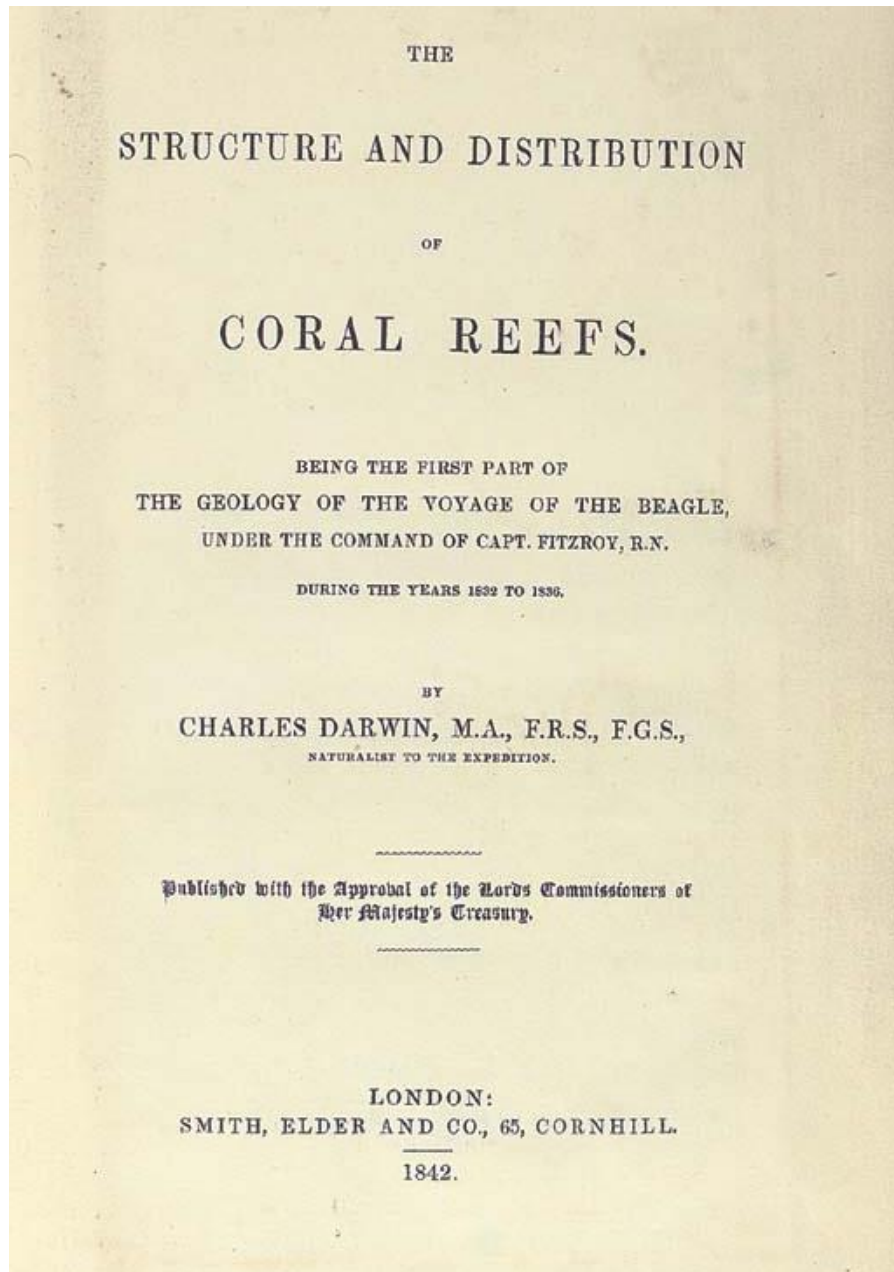


Fig. 26. Folha de rosto do primeiro volume da obra *The structure and distribution of coral reefs* (1842).
Fonte: DARWIN, Charles Robert. **The structure and distribution of coral reefs.** Being the first part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836. London: Smith Elder and Co, 1842.

Tendo tido contato com ilhas como as Maldivas, no oceano Pacífico, constituídas por sedimentos de corais, moluscos que vivem nos arredores, em recifes de coral, Darwin propôs uma explicação para os principais tipos de estrutura dos recifes de coral. Ele mencionou principalmente recifes de barreira⁴¹, atóis⁴² e recifes em franja⁴³ Ele assim se expressou:

As formas ordinárias e algumas peculiaridades na estrutura dos atóis e barreiras de recifes podem ser assim explicadas: a saber, a estrutura semelhante a uma parede em seus lados internos - a forma de bacia ou anelar, ambos os recifes marginais e centrais nos atóis das Maldivas - a união de alguns atóis como se fosse por uma fita - o aparente desserviço de outros - e a ocorrência, tanto nos atóis quanto em barreiras de recifes, de porções de recife, e também de alguns recifes completos, em um ambiente morto em estado submerso, mas mantendo o contorno de recifes vivos. Desse modo, pode-se explicar a existência de brechas nas barreiras de recifes em frente aos vales, embora eles estejam separados por um amplo espaço de águas profundas; assim, também, o contorno comum de grupos atóis, e a forma de atóis separados um do outro; assim, pode ser explicada a proximidade dos dois tipos de recifes formados durante a subsidência, e sua separação dos espaços onde abundam os recifes em franja. Ao procurar outras evidências dos movimentos supostos por nossa teoria, encontramos marcas de mudança em atóis e em barreiras de recifes e distúrbios subterrâneos em seu interior; mas, pela natureza das coisas, dificilmente é possível detectar quaisquer provas diretas de subsidência, embora algumas aparências lhe sejam fortemente favoráveis. Tudo o que pode se inferir de nossa teoria é que as franjas da costa, em vez de permanecerem estacionárias, geralmente foram elevadas. (DARWIN, 1842, p. 147)

Darwin chamou a atenção para a ação do oceano na produção dessas formações (figura 27). Ele explicou:

Refletindo sobre o quão poderoso agente de desnudação, e conseqüentemente da natureza e espessura dos depósitos que estão sendo acumulados, o oceano agindo sobre a terra por prolongados períodos, permitiu tanto a lenta emergência como a subsidência. Refletindo também sobre os efeitos finais desses movimentos nas trocas de terra e água do oceano, sobre o

⁴¹ Paralelamente ao litoral, são separados por lagoas mais profundas e mais amplas. Em seus pontos mais rasos, eles podem alcançar a superfície da água formando uma “barreira” à navegação.

⁴² São anéis de coral que criam lagoas protegidas e geralmente estão localizados no meio do mar. Os atóis geralmente se formam quando ilhas cercadas por recifes de franja afundam no mar ou o nível do mar sobe ao seu redor.

⁴³ Crescem perto da costa ao redor de ilhas e continentes. Eles são separados da costa por lagoas estreitas e rasas. São o tipo mais comum de recife.

clima da terra e a distribuição dos seres orgânicos, posso me permitir a esperar, que a conclusão derivada do estudo das formações de corais e que tenta apenas explicar suas formas peculiares, talvez mereça a atenção dos geólogos. (DARWIN, 1842, p. 148)

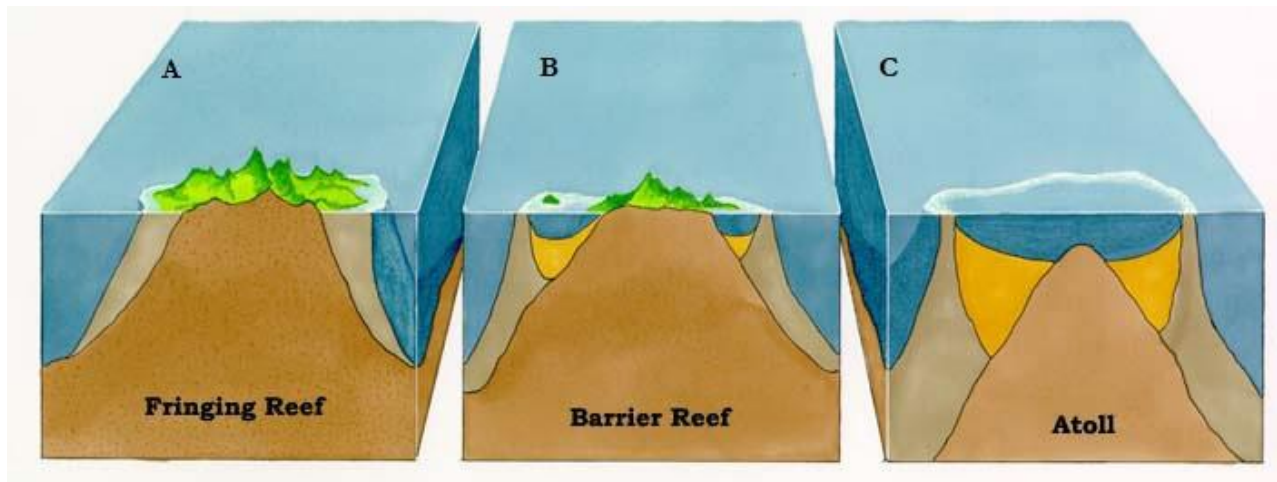


Fig. 27. Diferentes tipos de recifes de coral: (a) Franjas, (b) Barreira e (c) Atol.

Fonte: Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tipos-recifes-de-coral.jpg>

A hipótese sobre a estrutura e disposição dos recifes de coral de Darwin, pode ser assim resumida: Em uma lenta subsidência do leito do oceano, recifes de coral ao longo de uma linha costeira foram convertidos em recifes de barreira com um canal de lagoa entre eles e a costa. A terra insular continuou a afundar junto com o ambiente do fundo do mar. Enquanto os pólipos e corais acumularam material calcário que acompanhou o movimento descendente, a barreira de corais se tornou um atol ou anel de rocha de coral encerrando uma lagoa sob a qual o último pico de terra desapareceu. Desse modo, os picos submersos passaram a constituir arquipélagos cujas constituídos por coral. Até 1842 essa hipótese foi levada em consideração (GEIKE, 1909, pp. 34).

4.3 AS CONCEPÇÕES GEOLÓGICAS E PALEONTOLÓGICAS DE DARWIN NO *ORIGIN OF SPECIES*

Darwin se referiu à geologia nas várias edições do *Origin*. Iremos nos basear aqui principalmente na sexta edição, pois constitui a versão final de sua teoria. No Cap. 4, ele comparou a ação da seleção natural, o principal meio de modificação das espécies, à ação das forças geológicas. Nas palavras de Darwin:

A seleção natural pode agir somente pela preservação e acúmulo de modificações infinitamente pequenas que são herdadas, cada uma útil para o ser preservado; e como a geologia moderna praticamente banuiu algumas visões como a escavação de grandes vales por um único dilúvio, a seleção natural, bane a crença da criação contínua de novos seres orgânicos ou de qualquer mudança grande e repentina em sua estrutura. (DARWIN, 1872, p. 47)

Assim, para Darwin como as mudanças geológicas são lentas e cumulativas, as mudanças que acontecem nas espécies devem ocorrer no decorrer de muitas gerações, também de forma extremamente lenta, pela seleção natural que preserva variações muito pequenas que são úteis para a sobrevivência dos organismos. Portanto, implicitamente, ele se posicionou claramente contra o catastrofismo e a favor do uniformitarismo.

No Capítulo 10, Darwin discutiu sobre um dos principais problemas que eram mencionados em relação ao processo evolutivo lento e gradual e à ação da seleção natural: a imperfeição do registro geológico. Se a seleção natural, age pelo acúmulo de leves modificações no decorrer de muito tempo, no registro fóssil deveriam ser encontradas formas intermediárias. Ele procurou responder a essa objeção:

O acúmulo dos sedimentos deve ter ocorrido de dois modos: nas profundezas dos oceanos, onde não deveria haver muitas formas de vida, como se observa atualmente, e a massa ao ser elevada apresenta um registro imperfeito dos organismos que devem ter existido na vizinhança durante o acúmulo. (DARWIN, 1872, p. 156)

Ou seja, ele defendeu que provavelmente nas profundezas do oceano não havia muitas formas de vida e com a elevação do terreno, muitas das que existiam poderiam ter se perdido. Assim, as oscilações que ocorreram, como as elevações deveriam ter afetado a preservação das camadas com fósseis, ou ocasionado as lacunas que se encontram entre elas (DARWIN, 1872, p. 157).

Mais adiante, Darwin procurou explicar as razões para a extrema imperfeição do registro fóssil. Em primeiro lugar, somente uma pequena porção do globo tinha sido explorada geologicamente com cuidado. Apenas algumas classes de seres orgânicos tinham sido preservadas no estado fóssil. O número de espécies ou espécimes preservadas nos museus não era representativo do número de gerações que pereceram em uma única formação. Longos intervalos de tempo deveriam ter ocorrido entre a maioria das sucessivas formações. Além

disso, deveria ter havido provavelmente mais extinção durante os períodos de subsidência e mais variação durante os períodos de elevação, sendo que nesses últimos o registro foi menos perfeito (DARWIN, 1872, p. 179). Darwin explicou:

Os habitantes do mundo nos sucessivos períodos de sua história lutaram com seus predecessores na corrida pela vida e ocupam no momento uma posição mais alta na escala. Sua estrutura tornou-se mais especializada e isso pode explicar a crença comumente partilhada pelos paleontólogos de que a organização como um todo progrediu. (DARWIN, 1872, p. 180)

Ao tratar da sucessão geológica dos seres orgânicos (Cap. 11), Darwin comentou que o processo de modificação das espécies é lento e geralmente afeta poucas espécies ao mesmo tempo, pois a variabilidade de cada espécie independe da variabilidade das outras. (Darwin, 1872, p. 167). Ele acrescentou que embora cada formação pudesse marcar um lapso grande de anos, provavelmente esse tempo não seria suficiente para a mudança de uma espécie em outra. Assim, cada formação geológica não deve marcar necessariamente o aparecimento de uma nova espécie, mas apenas uma cena ocasional. Além disso, deveria ter ocorrido a migração dos animais marinhos devido às mudanças climáticas. (DARWIN, 1872, p. 168). Poderia haver também extinção repentina de grupos inteiros como no caso dos amonitas (Fig. x) no período secundário (DARWIN, 1872, p. 169), embora geralmente a extinção de um grupo envolva um processo mais lento do que sua produção (DARWIN, 1872, p. 171).

Em relação às afinidades entre as espécies extintas entre si e com as espécies vivas, de acordo com Darwin, o princípio da descendência com modificação pode ser explicado de dois modos. Geralmente as formas mais antigas diferem mais das formas vivas. Mas como Buckland havia mencionado, as espécies extintas podiam ser classificadas tanto nos grupos de espécies viventes como entre eles. Assim, espécies extintas auxiliavam no preenchimento entre as lacunas dos gêneros, famílias e ordens existentes (DARWIN, 1872, p. 178).

Em relação às formas intermediárias, Darwin mencionou que um dos grandes intervalos existentes se encontrava entre os pássaros e os répteis, mas que ele poderia ser preenchido parcialmente pelo avestruz (figura 28), o *Archeopteryx* (figura 29) e o *Compsognathus* (figura 30), um dinossauro incluído entre os maiores répteis terrestres (DARWIN, 1872, p. 178).



Fig. 28. Avestruz

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ostrich_in_safari.jpg



Fig. 29. Paleoarte de *Archeopteryx*

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archeopteryx_color.jpg

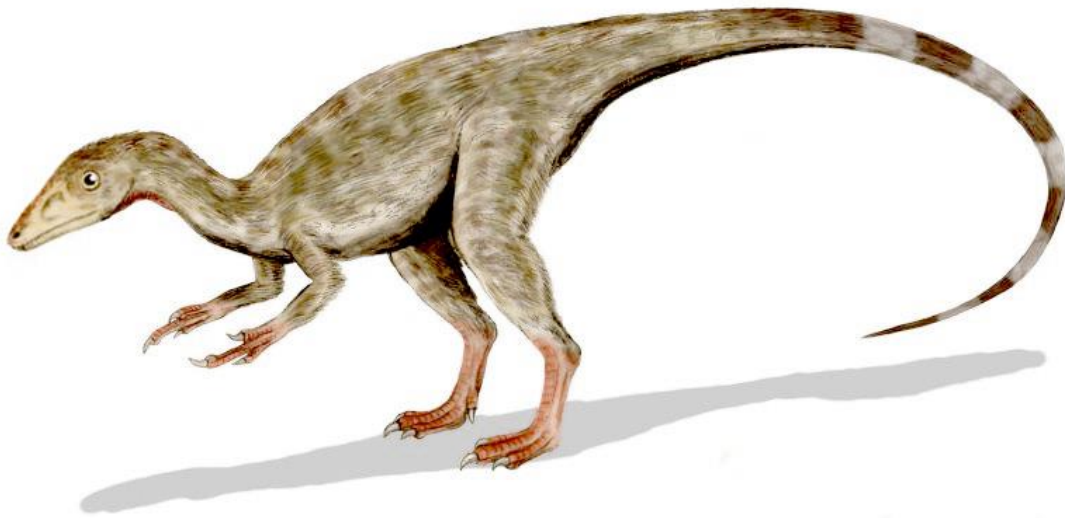


Fig. 30. Paleoarte de *Compsognathus*

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compsognathus_BW.jpg

Após apresentar vários fatos que corroboravam a existência de afinidades mútuas entre formas de vida extintas e viventes. Darwin concluiu:

Assim, os principais fatos sobre a teoria da descendência com modificação, as afinidades mútuas entre as formas de vida entre si e com as formas extintas, são explicadas de maneira satisfatória. E são inexplicáveis de outro modo. (DARWIN, 1872, p. 175)

Antes da publicação da primeira edição do *Origin*, Darwin já considerava a imensidão do tempo geológico que ele procurou ilustrar com a desnudação do vale de Weald⁴⁴ (figura 31) pela erosão marinha de modo análogo a Lyell⁴⁵ (BURCHFIELD, 1973, p. 302). A vastidão do tempo geológico e sua relação com as mudanças das espécies, de certa forma, explicava as lacunas no registro fóssil.

⁴⁴ Região com estratos rochosos diversos, Darwin atribuiu um período de 306.662.400 para a desnudação desse extenso vale situado no sul da Inglaterra. Mas essa atribuição produziu muitas críticas nos anos que se seguiram como as de John Phillips, Professor de Geologia em Oxford, que se opunha a Darwin e Lyell, em 1860. Para Phillips, esta estimativa era “inconcebível” e representava um “abuso da aritmética”. Outras críticas vieram por parte de Francis Bowen e do Bispo de Wilberforce e Lord Kelvin, por exemplo. Contudo, Darwin também teve defensores como Hooker e Huxley (BURCHFIELD, 1973, p. 305).

⁴⁵ Lyell dedicou dois capítulos do *Principles* ao assunto.



Fig. 31. Weald Valley

Fonte: Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/WealdfromDowns.JPG>

4.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Os conhecimentos sobre a geologia que Darwin obteve com seus professores em Edinburgh e Cambridge, as observações em campo, as leituras feitas antes e durante a viagem do Beagle e principalmente, o que ele pôde observar durante a viagem, contribuíram para que ele adotasse uma visão uniformitarista da natureza e concebesse a evolução lenta e gradual das espécies.

Como vimos também, para Darwin, o tempo para as mudanças geológicas e consequente mudança nas espécies, era muito grande, sem grandes catástrofes que destruíssem tudo, portanto, Darwin adotou uma posição uniformitarista, de modo semelhante a Lyell. Essa posição era contrária àquela adotada por boa parte dos membros da *Geological Society* de Londres.

Nesta pesquisa, encontramos vários elementos que indicam que Darwin atribuía grande importância à ação marinha como o principal agente de modificação da crosta terrestre. Nesse sentido, concordamos com Joe D. Burchfield (1973) em que um dos exemplos desse

posicionamento de Darwin foi a defesa da hipótese das chamadas *parallel roads*⁴⁶ de Glen Roy (figura 32) na Escócia (DARWIN, 1839), mesmo que ele tenha mudado de ideia muitos anos depois.

Mesmo considerando principalmente a ação da água, como os netunistas, Darwin também levou em conta a ação dos vulcões na elevação lenta e gradual dos estratos, porém não como resultado de uma única convulsão como consideravam os catastrofistas. Darwin observou tanto um terremoto como a atividade vulcânica. Ele encontrou também evidências de mudanças climáticas, do nível do mar, ações do intemperismo. Pôde observar estratos em que as camadas superiores de conchas fósseis eram semelhantes às espécies viventes. Por essas razões e também pelas expostas no cap. 2 desta tese, preferimos não aplicar o rótulo de netunista ou plutonista a Darwin.



Fig. 32. *Parallel roads of Glen Roy*

Fonte: Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PSM_V10_D325_Parallel_roads_of_glen_roy.jpg

⁴⁶ Consistem em uma série de linhas horizontais paralelas nos lados das colinas de Glen Roy, Glen Goy e Glen Spean, na Escócia. Atualmente são consideradas linhas costeiras remanescentes de um lago glacial que existiu no vale durante a última fase da atividade glacial. Disponível em: <https://www.geolsoc.org.uk/GeositesGlenRoy>

Não podemos esquecer que além das observações geológicas, os fósseis contribuíram para a elaboração da teoria da transmutação das espécies de Darwin, especialmente no eu dizia respeito à semelhança entre algumas formas fósseis com formas viventes.

CAPÍTULO 5

A SEQUÊNCIA DIDÁTICA E A SUA VALIDAÇÃO

Neste capítulo apresentamos a Sequência didática elaborada a partir do estudo histórico. Nossas referências teóricas foram Antoni Zabala (1998) e Martine Méheut & Dimitris Psillos (2004). Procuramos também estabelecer uma relação entre a sequência didática apresentada e as demandas da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

5.1 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Na sala de aula acontecem muitas coisas simultaneamente, o que torna difícil encontrar referências ou modelos para racionalizar a prática educativa. Nesse sentido, Antoni Zabala propõe que a atuação profissional pode ser baseada no pensamento prático, mas com capacidade reflexiva (ZABALA, 1998, p. 14).

A prática educativa dos professores se reflete na maneira de elaborar as sequências de atividades. A sequência de atividades é denominada “Sequência Didática” ou “Unidade Didática” e, de acordo com Zabala, apresenta a seguinte estrutura geral:

[...] um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. (ZABALA, 1998, p.18)

O modelo tradicional de aula expositiva pode ser interpretado como a seguinte sequência: exposição, estudos sobre apontamentos feitos pelo professor ou sobre determinados materiais, prova e qualificação (ZABALA, 1998).

Concordamos com Zabala (1998, p. 17) com que os professores devem ter um pensamento baseado em suas práticas educativas, mas com capacidade reflexiva, para que dessa forma, possam realizar em sala de aula uma intervenção reflexiva. Toda intervenção reflexiva quando aplicada em uma sequência didática abrange três fases: planejamento, aplicação e avaliação.

Levando em conta o que consta no parágrafo acima, propomos uma sequência didática que visa contribuir para o ensino de evolução e se baseia principalmente nas teorias sobre a

transmutação das espécies de Lamarck e Darwin, com ênfase nos aspectos geológicos. Essa sequência didática não será aplicada devido à limitação do tempo para a análise dos dados.

Na elaboração da sequência didática que apresentaremos mais adiante, nos baseamos também em Martine Méheut & Dimitris Psillos (2004). Eles consideram que a sequência didática é tanto uma atividade de intervenção e pesquisa quanto um produto e que é preciso conhecer as concepções dos estudantes. Recomendam que sejam levados em conta o professor, o aluno, o conhecimento científico e o mundo material (figura 33) (MÉHEUT & PSILLOS, 2004, pp. 516-517). Desse modo, a sequência didática deve contemplar não apenas a dimensão pedagógica, mas também a dimensão epistêmica considerando o processo de elaboração, métodos e validação do conhecimento científico que podem torná-lo significativo em relação ao mundo real (MÉHEUT & PSILLOS, 2004, p. 517). Já a dimensão pedagógica, diz respeito aos aspectos inerentes ao papel do professor e às interações professor-aluno e aluno-aluno (MÉHEUT & PSILLOS, 2004, pp.196-198; BRUNELLI, 2014).

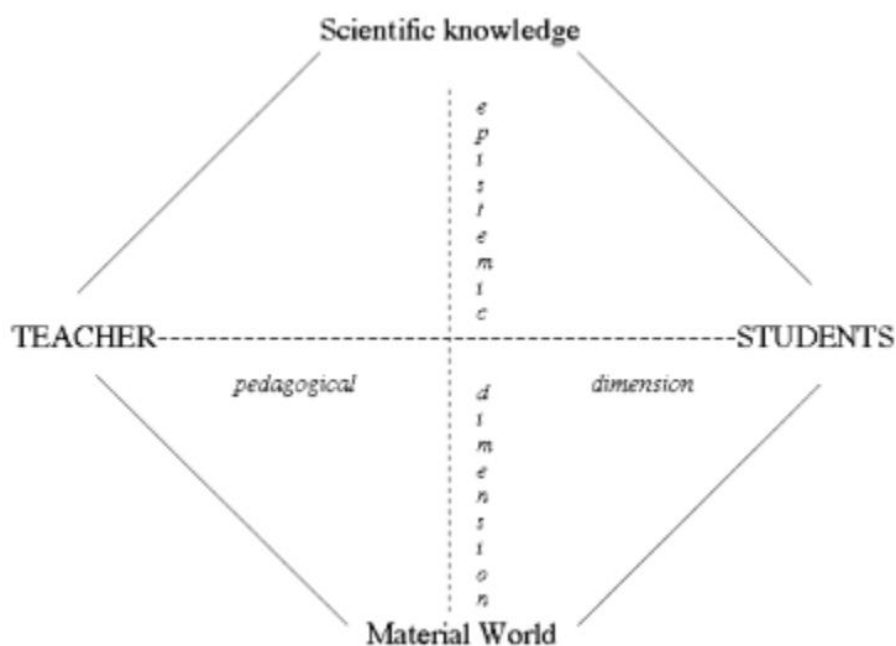


Fig. 33. Didactical rhombus (Losango didático)

Fonte: MEHEUT, Martine & PSILLOS, Dimitris. Teaching-learning sequences: aims and tools for Science education research. **International Journal of Science Education**, v, 26, n. 5, p. 515-652, 2004. p. 517.

Para atender a dimensão epistêmica serão apresentados elementos das teorias de Lamarck e Darwin que permitam que os alunos possam entender como esses autores chegaram a essas ideias, como as evidências geológicas e paleontológicas contribuíram para o processo de elaboração das teorias e como era a ciência na época. A dimensão pedagógica será

contemplada pela interação professor-aluno. Nesse aspecto, estão as várias atividades trabalhadas no decorrer da sequência didática, incluindo as relacionadas ao jogo que contemplará não apenas a dimensão pedagógica, mas também aspectos lúdicos. Em relação aos conhecimentos dos estudantes sobre o mundo material serão consideradas as suas concepções sobre as espécies e sobre a evolução.

5.2 A ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A Sequência elaborada levou em conta o que foi proposto pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ensino Médio, em substituição aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). A parte dedicada às Ciências da Natureza e suas tecnologias propõe diversas habilidades e competências, dentre as quais selecionamos algumas. A competência específica 2 propõe:

Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis. (BNCC, 2018, p. 542)

Essa competência abrange os conceitos de origem da Vida, evolução biológica, registro fóssil, biodiversidade, origem e extinção de espécies. Dentro dessa competência destacamos as seguintes habilidades (BNCC, p. 543):

(EM13CNT201)⁴⁷ Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo.

O objetivo da sequência didática apresentada é analisar diferentes teorias sobre o surgimento e a evolução da vida na Terra propostas em diferentes épocas, contribuindo dessa maneira para o melhor entendimento do que a ciência aceita atualmente sobre evolução. Serão abordadas concepções fixistas (Lineu e Cuvier) e evolucionistas (Lamarck e Darwin).

⁴⁷ Na sigla EM13CNT201, o primeiro par de letras (EM) indica a etapa, Ensino Médio. O primeiro par de números (13) indica que as habilidades descritas podem ser desenvolvidas em qualquer série do Ensino Médio, conforme definição dos currículos. CNT significa Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Os números finais (201) indicam a competência específica à qual se relaciona a habilidade (1º número) e a sua numeração no conjunto de habilidades relativas a cada competência (dois últimos números (BNCC, 2018, p.34)

Os episódios históricos estudados permitirão que o estudante perceba aspectos relacionados à natureza da ciência (LEDERMAN, 2006).

5.3 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA: AS CONCEPÇÕES SOBRE A TRANSMUTAÇÃO DAS ESPÉCIES E O PAPEL DA GEOLOGIA NAS TEORIAS DE LAMARCK E DARWIN

TÍTULO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA: As concepções sobre a transmutação das espécies e o papel da geologia nas teorias de Lamarck e Darwin

Público alvo: Terceiro ano do ensino médio

Tempo estimado: 7 aulas consecutivas, com duração de 50 minutos

Objetivo da sequência didática: Analisar diferentes teorias propostas em diferentes épocas sobre o surgimento e a evolução das espécies na Terra, contribuindo dessa maneira para o melhor entendimento do que a ciência atual aceita sobre a evolução.

PRIMEIRA AULA: Conhecimento prévio

Objetivo: Tomar contato com o conhecimento prévio dos alunos sobre evolução biológica e sua história

Material: Questionário impresso

Procedimentos: Inicialmente serão apresentadas aos estudantes algumas figuras (figura 34 e 35, por exemplo) e indagar o que elas representam para eles. A seguir, eles deverão responder a algumas perguntas.

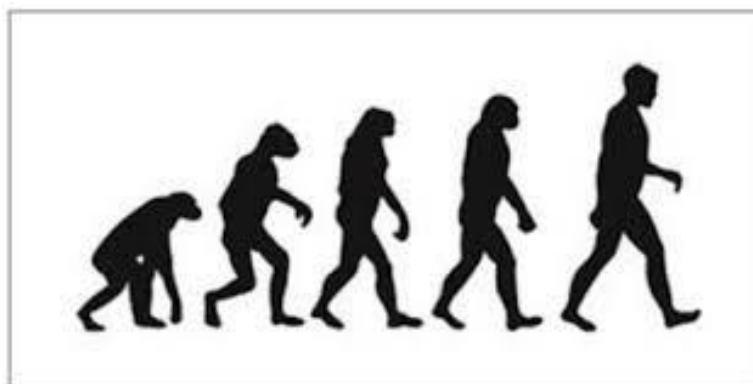


Fig. 34. Versão simplificada de “A Marcha do Progresso”

PEDIGREE OF MAN.

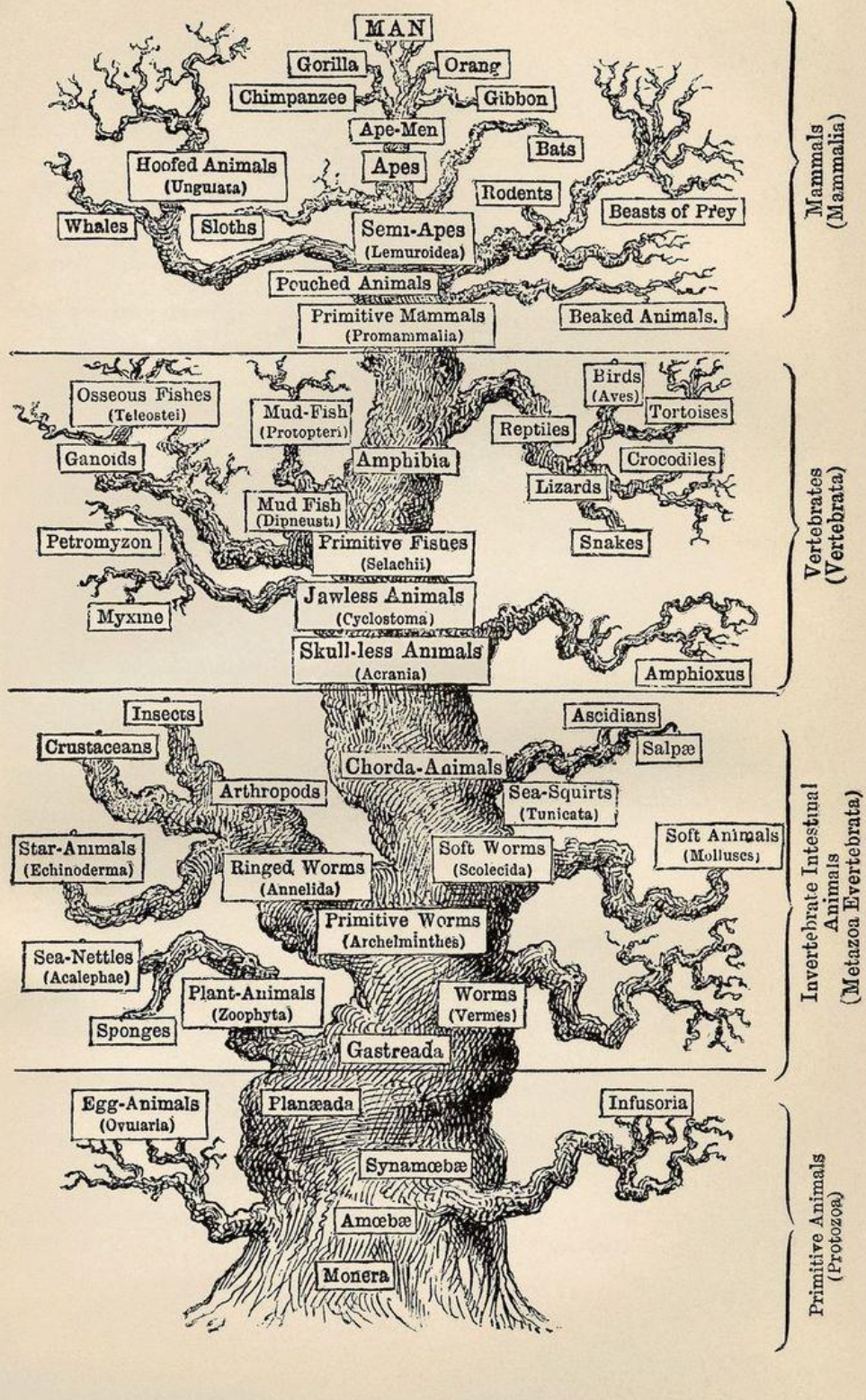


Fig. 35. Genealogia do homem, por Ernst Haeckel

Fonte: Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Tree_of_life_by_Haeckel.jpg

- 1) Você acha possível que as espécies que existem hoje tenham se originado de outras que existiram há muito tempo atrás? Ou elas permaneceram sempre as mesmas?
- 2) Se alguém perguntasse para você o que é evolução, o que você responderia?
- 3) Você sabe quem são essas pessoas (figura 36)?

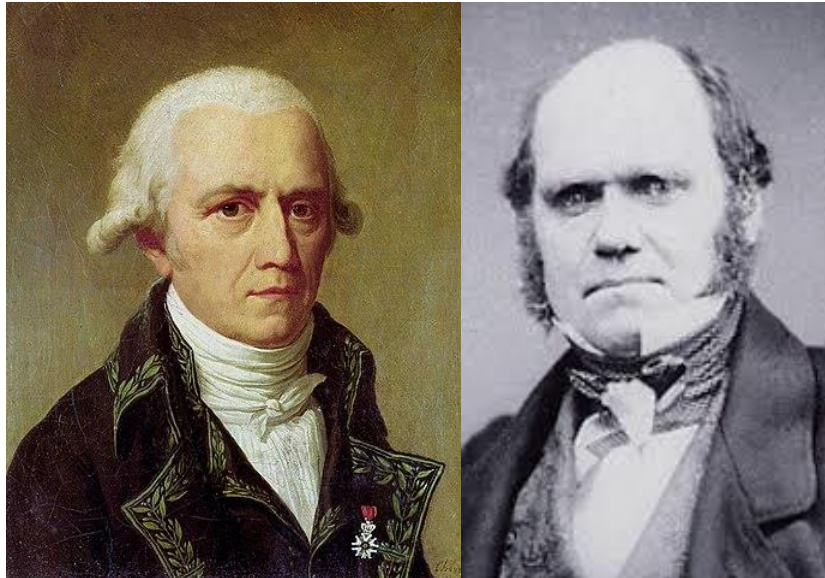


Fig. 36. Retratos de Lamarck e Darwin

SEGUNDA AULA: Compartilhamento

Objetivo: Discutir sobre as ideias dos estudantes com base nas respostas dadas na aula anterior.

Material: lousa e giz, textos impressos ou projetados

Procedimento: Os alunos exporão suas ideias e o professor mediará a discussão. Provavelmente aparecerão ideias diferentes em relação às questões colocadas. Muitas delas poderão ser semelhantes à visão de alguns naturalistas mais antigos. O professor apresentará então a situação problema: Como será que se pensou sobre a origem das espécies durante a história da biologia? Explicará que nas aulas seguintes discutirá sobre diversas ideias que apareceram sobre as espécies.

TERCEIRA AULA: Ideias fixistas: Lineu e Cuvier

Objetivo: Conhecer as ideias de alguns estudiosos que admitiam que as espécies eram fixas

Material: apresentação em *Power point*.

Procedimento: aula expositiva dialogada

O professor explicará que durante a história da biologia houve vários estudiosos que aceitavam que as espécies eram fixas e que tinham diferentes explicações para isso. Por exemplo, no século XVIII, três séculos atrás, Lineu acreditava que as espécies tinham sido criadas por Deus já adaptadas ao ambiente em que viviam. Já Cuvier, no século XIX, também acreditava que as espécies fossem fixas. Para ele, havia grandes revoluções no globo terrestre, grandes catástrofes que destruíam tudo. Para isso ele se baseou no registro fóssil, principalmente de mamíferos grandes como o mastodonte que seria uma espécie extinta, diferente do elefante. Para Cuvier, o fato de não serem encontradas formas intermediárias entre as espécies fósseis e atuais era um indício de que as espécies não se modificavam ao longo do tempo.

QUARTA AULA: Ideias evolucionistas: Lamarck

Objetivo: Conhecer as ideias de um estudioso (Lamarck) que viveu na mesma época de Cuvier e no mesmo país que ele, mas que diferentemente dele, acreditava que as espécies podiam se modificar ao longo do tempo.

Material: apresentação em *Power point*.

Procedimento: Mostrar a figura de Lamarck que foi apresentada na aula anterior. Explicar que como Cuvier, ele viveu na França. Lamarck acreditava que nem sempre tinha havido seres vivos na superfície terrestre. Os primeiros seres vivos tinham se formado no início na água ou em lugares úmidos por geração espontânea e estavam se formando sempre. Eles davam origem a todos os outros. Para fundamentar suas ideias Lamarck construiu uma escala de perfeição com grandes grupos de animais, mostrando que havia dos grupos mais simples para os mais complexos em termos de organização, um aumento de complexidade em relação aos aparelhos, sistemas ou órgãos essenciais. Então levantou a hipótese de que a natureza teria procedido do mais simples para o mais complexo. Lamarck estudou os fósseis na bacia de Paris e as coleções de moluscos do Museu de História Natural de Paris. Percebeu que as conchas fósseis apresentavam bastante semelhança com as conchas viventes. Chegou à conclusão de que não teria havido extinção, mas as espécies viventes teriam se originado das fósseis. Por outro lado, a superfície terrestre teria sofrido mudanças geológicas ao longo de muito tempo. Fósseis de animais marinhos encontrados no alto das montanhas indicavam isso. Para ele, assim como as mudanças geológicas levavam muito tempo, o mesmo acontecia com as mudanças nas espécies. É bem provável que ele tivesse encontrado formas intermediárias entre as conchas fósseis e atuais. Contudo, não as utilizou para fundamentar sua teoria.

Com base nos fatos que observou, Lamarck propôs quatro leis que seriam responsáveis pela modificação das espécies. A primeira lei dizia respeito à existência de uma tendência na natureza para o aumento de complexidade. Esta lei seria responsável pelo desenvolvimento do indivíduo desde o ovo até a fase adulta e também pela formação dos grandes grupos de animais constituindo uma escala de perfeição. A segunda lei procurava explicar o aparecimento de novos órgãos ou partes. Se houvesse uma nova necessidade, ela provocaria novos hábitos que se mantidos causariam modificações no corpo dos animais. Por exemplo, as antenas do caracol relacionadas à sua necessidade de apalpar o terreno com a cabeça. A terceira lei seria a lei do uso e desuso. Quanto mais um órgão ou parte do animal fosse utilizado, mais se desenvolveria e manteria. Caso ocorresse o contrário, ele tenderia no decorrer de muito tempo a se atrofiar ou mesmo desaparecer. A última lei seria a herança de caracteres adquiridos. Essa não era uma ideia original de Lamarck, mas aceita por muitos estudiosos da época. De acordo com Lamarck, para serem herdadas as características adquiridas pelo uso e desuso, deveriam acontecer em ambos os progenitores e nem sempre isso acontecia. Lamarck não aceitava herança direta de mutilações. Atualmente não se aceita a maior parte dessas ideias, mas muitas delas eram plausíveis na época em que Lamarck viveu.

QUINTA AULA: Fase da investigação

Objetivo: Conhecer as evidências que contribuíram para que Darwin chegasse à ideia da transmutação das espécies

Material: Jogo de tabuleiro, cartas⁴⁸.

Procedimento: A classe é dividida em grupos de quatro a cinco alunos. Antes eles vão ser colocados na situação de um naturalista do século XIX cujo nome eles não sabem. É explicado para ele qual era a situação da ciência na época e também como a ciência e religião estavam associadas na Grã-Bretanha e que esse naturalista ao partir para esta viagem acreditava que as espécies não se modificavam ao longo do tempo. Os estudantes são informados de que este jovem iniciou um curso de medicina, mas o abandonou depois que presenciou uma cirurgia, sem anestesia, que ele se interessava muito por botânica e geologia. Foi convidado para fazer companhia ao capitão do navio em uma viagem cujo objetivo era fazer o mapeamento da costa. Seu pai hesitou em deixá-lo partir, mas foi convencido pelo seu tio. Inicialmente com algumas

⁴⁸ Este material foi confeccionado e aplicado a alunos e professores da Rede pública de ensino no “Projeto Darwin vai à escola”, que teve a duração de quatro anos, envolvendo vários bolsistas e docentes. O projeto foi implementado na FFCLRP-USP.

instruções eles vão procurar traçar a rota da viagem. Depois vão se deparar com várias situações que de acordo com as condições da época deverão explicar. Cada grupo discutirá e terá um representante que redigirá a resposta. A pontuação vai ser colocada posteriormente na lousa pelo professor e as explicações serão discutidas. Só quando o jogo for concluído e ocorrer a discussão das explicações é que os estudantes vão saber que o naturalista era Charles Darwin. Aí eles vão entender como Darwin foi mudando de ideia sobre a origem das espécies.



Fig. 37: Jogo de tabuleiro. Projeto Darwin vai à escola.

Fonte: Trabalho apresentado pelos alunos Tiago C. Borelli e Natalia Volgarine Scaraboto no 5º *Simpósio Aprender com Cultura e Extensão* da Universidade de São Paulo.



Fig. 38: Cartas do jogo de tabuleiro. Projeto Darwin vai à escola.

Fonte: Trabalho apresentado pelos alunos Tiago C. Borelli e Natalia Volgarine Scaraboto no 5º Simpósio *Aprender com Cultura e Extensão* da Universidade de São Paulo.

SEXTA AULA: A teoria de Darwin

Objetivo: Acrescentar mais elementos sobre a teoria de Darwin, a partir do que foi discutido na aula anterior.

Material: Quadro negro e giz.

Procedimentos: Aula expositiva dialogada.

Retomar o que foi discutido na aula anterior, mencionando que a viagem se estendeu por cinco anos e que durante este tempo além do que observou, Darwin leu dois livros que também contribuíram para que admitisse a transmutação das espécies, um deles foi o *Principles of geology* (“Princípios de geologia”) de Charles Lyell. Lyell defendia que as mudanças geológicas eram extremamente lentas. O outro era um livro sobre economia escrito por Thomas Malthus. Nele o autor mencionava que enquanto os recursos naturais cresciam em progressão

aritmética, as populações aumentavam em progressão geométrica. Assim se não houvesse algum impedimento nesse processo, chegaria algum momento em que não haveria alimentos e nem recursos naturais para a sobrevivência. Quando Darwin retornou à Inglaterra, ele estava convencido de que as espécies se modificavam ao longo do tempo, porém ele não sabia ainda qual era o principal meio de modificação das espécies. Depois ele considerou que o principal meio era a seleção natural. Ela agia sobre as pequenas variações que aconteciam nos seres vivos selecionando as que fossem úteis para a sua sobrevivência. Haveria uma luta pela existência e os indivíduos mais adaptados deixariam descendentes. Para entender melhor a ação da seleção natural na natureza que o homem não podia observar durante sua vida Darwin utilizou a seleção artificial, ou seja, o trabalho que os criadores de animais e plantas ornamentais faziam selecionando as características que desejavam, cujo resultado podia ser observado. Mas para Darwin, a seleção natural não era o único meio de modificação das espécies. Outras possibilidades seriam a herança de caracteres adquiridos pelo uso e desuso, a seleção sexual, por exemplo. Mas ele deixou aberta a possibilidade de haver outros meios, além desses.

Como Lamarck, Darwin acreditava que as mudanças nas espécies seriam lentas e graduais, assim como as mudanças geológicas. Eles tinham uma visão uniformitarista da natureza. Poderia haver eventualmente terremotos, vulcanismo etc. mas não grandes revoluções do globo que destruía tudo como pensava Cuvier, por exemplo.

Uma curiosidade é que Darwin não escreveu a sua obra mais conhecida “A Origem das Espécies” de imediato, mas demorou 23 anos, pois queria fundamentar o seu estudo.

SÉTIMA AULA: Leitura e discussão de trechos originais das obras de Lamarck e Darwin.

Objetivo: Tomar conhecimento das ideias geológicas de Lamarck e Darwin por meio de trechos de suas obras

Incentivar a interpretação de trechos de textos de fontes primárias.

Material: Trechos impressos ou projetados de obras originais de Lamarck e Darwin.

Duração: Uma aula de cinquenta minutos

Procedimento: O professor dividirá a classe em quatro grupos que receberão trechos de obras originais de Lamarck e Darwin⁴⁹ em que esses autores discutem sobre aspectos geológicos relacionados às suas teorias.

⁴⁹ Essas obras foram analisadas nesta tese.

Os alunos de cada grupo lerão os textos que lhe couberam e discutirão sobre as principais ideias neles contidas. O professor orientará a leitura pedindo que os estudantes procurem saber qual é a área de estudo do texto e quais são as principais ideias nele contidas. Além disso, qual é o país em que foram escritos e qual é a distância cronológica entre o texto de Lamarck e os dois textos de Darwin.

No caso do trecho retirado de *Hydrogeology* de Lamarck, foi publicado em 1802 e trata de aspectos geológicos. Enquanto, a *Origem das Espécies* de Charles Darwin, foi publicado em 1859 e se trata da sexta edição. Nessa obra Darwin trata ao longo de quinze capítulos sobre a sua proposta sobre a transmutação das espécies, abordando também aspectos geológicos.

Trechos retirados da obra *Hydrogeology* (Lamarck, 1802).

“Oh! Quão antigo é o globo terrestre, e quão estreitas são as ideias daqueles que lhe atribuem a idade de 6000 anos” (LAMARCK, 1802, p. 75).

“Eu também poderia perguntar como a hipótese de uma catástrofe universal pode explicar a preservação de tantas conchas delicadas que o menormovimento se quebrariam, mas que, no entanto, ocorrem em perfeitas condições entre outros fósseis”. (LAMARCK, 1802, p. 67).

Trechos retirados da obra *Origin of species* (Darwin, 1859)

“Podemos ter uma ideia melhor do tempo passado conhecendo os agentes que atuarem nesse período, aprendendo o quanto a espessura da superfície da terra foi desnudada e quanto sedimento foi nela depositado. Como Lyell bem assinalou, a extensão e a espessura de nossas formações sedimentares são o resultado e a medida da denudação pela qual passou a crosta terrestre. Portanto, o homem deveria examinar por si mesmo a grande pilha de camadas superpostas e observar os riachos que levam a lama que delas escorre, assim como as ondas que vão desbastando as falésias do mar, a fim de compreender alguma coisa sobre a duração das eras passadas, cujos monumentos vemos ao nosso redor”. (DARWIN, 1859, p. 402).

“Aqueles que acreditam em certo grau de perfeição no registro geológico, sem dúvida, rejeitarão minha teoria. De minha parte, seguindo a metáfora de Lyell, considero o registro geológico como uma história do mundo guardada e escrita de maneira imperfeita em um dialeto em transformação. Dessa história possuímos somente o último volume, relativo apenas a dois

ou três países. Desse volume, apenas aqui e ali foi preservado um pequeno capítulo e, de cada página, apenas aqui e ali restaram umas poucas linhas. Cada palavra da linguagem lentamente transformada, mais ou menos diferente em capítulos sucessivos, pode representar as formas de vida que sepultamos em nossas formações consecutivas e que falsamente apresentam a ideia de terem surgido de modo abrupto”. (DARWIN, 1872, p. 433).

OITAVA AULA

Objetivos: Discutir sobre a importância dos aspectos geológicos nas teorias de Lamarck e Darwin.

Material: quadro negro e giz

Procedimentos: Retomar a discussão da aula anterior, as questões colocadas na primeira aula e trazer outras questões.

O professor comentará que os naturalistas se basearam em evidências para elaborar suas teorias e se os alunos conheciam como as evidências geológicas foram importantes nas teorias de Lamarck e Darwin.

Poderá perguntar se hoje em dia são aceitas todas as ideias de Lamarck e Darwin.

O que é aceito pela ciência atualmente?

O que é evolução?

A partir resposta dessas questões pelos estudantes, o professor incentivará a reflexão por parte dos estudantes e poderá avaliar se houve mudanças em relação às ideias que eles tinham na primeira aula.

Após a interpretação dos trechos de fontes primárias feita pelos alunos, o professor deve enfatizar que Lamarck e Darwin basearam seus estudos também em aspectos geológicos, não apenas em aspectos biológicos como alguns estudantes provavelmente pensavam ou mesmo, como é expresso em muitos livros didáticos.

Por meio das questões colocadas, o professor incentivará a reflexão por parte dos estudantes e os mesmos poderão fazer inclusive uma auto-avaliação sobre as suas ideias a respeito da mudança das espécies, se elas seriam as mesmas da primeira aula ou se modificaram após as atividades desenvolvidas.

AVALIAÇÃO

A avaliação será contínua considerando todas as atividades desenvolvidas durante a sequência didática: respostas ao questionário, participação nas discussões durante as aulas expositivas dialogadas, no jogo, na dinâmica de grupo. O professor poderá atribuir notas para cada uma delas e depois fazer uma média aritmética.

VALIDAÇÃO

A sequência didática proposta foi validada pelo grupo de pesquisa do Laboratório de História e Teoria da Biologia da Faculdade de filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, no dia 07/04/2021. Infelizmente não pôde ser aplicada devido às restrições impostas pela COVID 19 nos dois últimos anos.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em conta as dificuldades encontradas no ensino-aprendizagem de evolução e partindo da ideia de que a História da Ciência pode ser um auxiliar no ensino de ciências, fizemos uma pesquisa histórica procurando mostrar como a geologia e a paleontologia contribuíram para as teorias sobre a transmutação das espécies de Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829) e de Charles Robert Darwin (1809-1882), um aspecto que geralmente não aparece na parte histórica dos livros-texto de Biologia.

Vamos reproduzir aqui as questões que nortearam a pesquisa histórica e procurar responde-las a seguir.

- a) Quais eram as posições que podiam ser encontradas sobre a formação das rochas e superfície terrestre no final do século XVIII e no século XIX?
- b) O que estava em discussão no debate entre netunistas e vulcanistas? Quais eram seus principais argumentos? Quais foram seus principais representantes?
- c) Quais eram as concepções e principais argumentos dos catastrofistas e uniformitaristas?
- d) Qual era a posição adotada por Lamarck em relação as discussões netunismo versus vulcanismo e catastrofismo versus uniformitarismo?
- e) Como as concepções sobre a formação das rochas e da superfície terrestre se relacionam com a teoria “evolutiva” de Lamarck?
- f) Qual era a posição adotada por Darwin em relação aos debates acima mencionados?
- g) Como as concepções evolutivas de Darwin se relacionam com os conhecimentos geológicos de sua época?

No final do século XVIII, principalmente a partir do estudo das rochas sedimentares, havia duas posições sobre a formação da crosta terrestre a saber: netunista e plutonista (ou vulcanista). A posição netunista, considerava que as rochas sedimentares tinham sido modificadas pela ação da água, com o rebaixamento do nível dos oceanos. A posição plutonista, considerava que essa modificação teria ocorrido pela ação do calor. Havia muitas dúvidas em relação a ambas. Porém, havia uma concordância quanto à longa duração do tempo para que essas

transformações ocorressem. Entre os defensores do netunismo podemos mencionar Johann Gottlob Lehman (1719-1767) e Abraham Gottlob Werner (1749-1817), professores nas escolas de minas na Alemanha. Para os plutonistas, a atividade vulcânica era relevante para a formação da crosta terrestre. Por exemplo, na primeira metade do século XVIII para Anton-Lazzaro Moro (1687-1764), as camadas de rochas sedimentares eram constituídas por cinza que tinha sido depositada durante as erupções vulcânicas. Mais para o final do século XVIII, James Hutton (1726-1797) apresentou evidências de que o centro da Terra era muito quente, o que foi utilizado pelos plutonistas para explicar a formação das montanhas. Ele encontrou áreas em que havia intrusão de granito e basalto nos estratos e mostrou que eram rochas de origem vulcânica. Ele considerava que havia um fogo central perpétuo que podia derreter a argila e elevar os continentes. Como o estilo de Hutton foi considerado complexo, John Playfair (1748-1819) procurou apresentar as concepções de Hutton de modo mais claro na obra *The Huttonian theory of the Earth* (“A teoria da Terra, de Hutton”) (Playfair, 1802). Contudo, nessa obra, ele também introduziu algumas de suas próprias ideias. Pode-se dizer que nessas duas posições as transformações seriam extremamente lentas, o que mais tarde foi chamado de “uniformitarismo”.

Na primeira década do século XIX, geólogos que integravam a *Geological Society* de Londres como por exemplo, William Buckland (1784-1856), defendiam que no passado houve movimentos em grande escala na Terra que não mais eram observados no presente, inclusive um grande dilúvio que teria atingido a Grã-Bretanha. Este dilúvio nem sempre era relacionado ao dilúvio universal do *Gênesis*. Essa visão mais tarde (em 1830) foi chamada de “catastrofismo”. A partir daí, além dos debates netunismo *versus* plutonismo, se intensificou o debate uniformitarismo *versus* catastrofismo.

Na França, no início do século XIX, J. B. Lamarck admitia que as transformações na superfície terrestre tinham ocorrido pela ação da água com o deslocamento dos oceanos que percorreram de modo contínuo e lento todos os pontos da superfície terrestre. Para justificar sua posição, ele se referiu às falésias encontradas na região de Vaches-Noires (Calvados), na França. Concordamos com Albert Carozzi que apesar de não admitir a existência de um oceano universal como Werner, vários aspectos das concepções geológicas de Lamarck tais como o papel das águas do oceano na construção da crosta terrestre e a origem dos granitos e pórfiros podem ser considerados netunistas. Contudo, ele também admitia alguns elementos encontrados nas concepções plutonistas como a influência dos vulcões submarinos. Talvez por essas razões, não tenha se posicionado nos debates entre netunistas e plutonistas que ocorreram

na França na época. Por outro lado, em relação ao uniformitarismo, sua posição foi bastante clara. Assim como as transformações geológicas a mudança das espécies seria extremamente lenta. Lamarck tinha noção da imensidão do tempo geológico. O estudo dos fósseis da bacia de Paris e a organização e classificação das espécies fósseis e viventes de moluscos do Museu de História Natural de Paris, a semelhança entre elas sugeriu que as espécies poderiam ter se modificado e não se extinguido. Os fósseis de animais marinhos encontrados no alto de montanhas sugeriam que a superfície terrestre tinha sofrido modificações. Assim, podemos dizer que a transformação das espécies de forma lenta e gradual associada à lentidão das mudanças geológicas bem como a própria concepção de tempo em Lamarck, constituem uma visão uniformitarista, opondo-se ao “catastrofismo” e fixismo de Georges Cuvier (1769-1832).

Cuvier, ao estudar os restos de fósseis encontrados nos estratos, concluiu que teriam acontecido numerosas revoluções geológicas súbitas as e algumas delas teriam ocorrido antes do aparecimento de seres vivos na Terra. As maiores lacunas no registro fóssil poderiam ser explicadas por essas revoluções que seriam a causa da extinção. Portanto, pode-se dizer que sua visão, era catastrofista. Ele considerava que as espécies eram fixas.

Charles Lyell, a partir do estudo dos vulcões da região de Auvergne, na França, na década de 1820, dentre outros, considerou como Hutton que os furacões e as erupções vulcânicas eram manifestações alternativas do mesmo processo de intrusão e expansão que ocorria a grandes profundidades. Haveria um equilíbrio completo entre os agentes geológicos construtivos e destrutivos. Na obra *Principles of geology* (1832) adotou a posição uniformitarista. Ele considerava que as espécies eram fixas.

Charles Darwin interessou-se pela geologia no período que antecedeu à viagem do Beagle. Em Edinburgh teve contato tanto com vulcanistas como plutonistas. Um de seus professores, Robert Jameson (1774-1854) era um seguidor de Werner e considerava que os estratos tinham sido precipitados a partir de um oceano universal. Por outro lado, seu professor de química, Thomas Charles Hope (1766-1844) que se opunha às ideias de Werner e defendia as posições de Hutton e Playfair. Na viagem do Beagle, teve a oportunidade de ler várias obras, incluindo o primeiro volume dos *Principles of geology* de Lyell. No arquipélago de Cabo Verde, ele observou que as rochas mais antigas da costa eram de origem vulcânica. Ao comparar lavas de origem vulcânica com rochas ígneas dos Andes, percebeu que eram muito similares. Os minerais que compunham o granito e as lavas eram semelhantes sob muitos aspectos, o que sugeria a existência de uma série perfeita de gradação entre granitos e lavas semelhantes ao vidro. Ele percebeu também que os planos de clivagem nas ardósias eram paralelos à direção

de grandes eixos em que a elevação tinha ocorrido. Ao presenciar um terremoto no Chile observou a ocorrência de uma elevação no solo. Constatou que o vulcanismo e os terremotos estavam intimamente relacionados e que eram resultado de movimentos do material em estado de fusão no interior do globo. Na visita aos Andes, Darwin percebeu que deveria ter ocorrido uma mudança climática na região, tanto em relação ao passado geológico como no presente. Darwin atribuía grande importância à ação marinha na modificação da crosta terrestre, um exemplo disso seriam as linhas paralelas de Glen Roy na Escócia. Devido a essas razões, e por não termos encontrado nenhuma posição em relação ao debate, consideramos que não seria adequado rotulá-lo como plutonista ou netunista. Porém como Lamarck, Darwin considerava a imensidão do tempo geológico e adotou uma posição uniformitarista.

As observações geológicas durante a viagem do Beagle ou antes dela, os fósseis encontrados, especialmente no que dizia respeito à semelhança entre algumas formas fósseis com formas viventes, contribuíram para a elaboração da teoria da transmutação das espécies de Darwin. Sua visão da imensidão do tempo geológico e das mudanças geológicas contribuíram para a adoção de uma visão uniformitarista da natureza que ele associou ao gradualismo do processo evolutivo.

Assim, durante o desenvolvimento da pesquisa percebemos a existência de relações entre os aspectos geológicos e biológicos nas obras de Lamarck e Darwin e como eles foram relevantes para as suas teorias sobre a transmutação. Ambos assumiram uma posição uniformitarista, considerando que as mudanças geológicas e biológicas ocorrem de forma lenta e gradual, no decorrer de muito tempo.

Para Lamarck, as mudanças geológicas seriam muito lentas e causariam as mudanças nas espécies. O tempo é dinâmico no que se refere ao surgimento da vida e suas transformações, pois a vida está sempre surgindo através da geração espontânea e os animais estão sempre mudando, de forma extremamente lenta e contínua, sem saltos. Para Darwin, as espécies se modificam lentamente no decorrer do tempo, acompanhando as mudanças geológicas, sob a ação de vários agentes naturais. O principal deles é a seleção natural que atua sobre as variações leves, selecionando as que forem leis para a sobrevivência dos indivíduos. A noção de que os seres vivos se modificam lenta e gradualmente é coerente com o uniformitarismo, onde as mudanças são lentas e graduais ao longo de muito tempo. Tais mudanças se devem ao meio em que os seres vivos estão e se adaptam e tal adaptação ocorre no decorrer de muito tempo.

Em relação ao ensino de ciências, no Capítulo 1, optamos por utilizar a História da Ciência no Ensino de Ciências, mas da forma adequada e na proporção adequada. A nosso ver, a

exploração de aspectos da natureza da ciência, é uma boa abordagem. Contudo, é importante a formação continuada dos professores nesse sentido. Os capítulos 2, 3 e 4 consistem em um material que poderá ser utilizado de diversas formas pelos professores em suas aulas. Neles transparecem diversos Aspectos relacionados à Natureza da Ciência (FOS). Por exemplo, no Capítulo 2, as posições netunista e plutonista ou uniformitarista e catastrofista que permearam o final do século XVIII e início do século XIX, mostram que nem sempre existe acordo na ciência, que as evidências podem ser interpretadas à luz de diferentes teorias. Nos Capítulos 3 e 4, ao analisar as posições de Lamarck e Darwin sobre o assunto foi possível perceber que muitas vezes é difícil aplicar rótulos aos cientistas, já que as concepções de ambos envolviam tanto aspectos do netunismo como do plutonismo. Talvez por isso, os dois naturalistas não tenham se posicionado explicitamente em favor de uma dessas posições em suas publicações.

Como o estudo histórico mostrou que os estudos geológicos e paleontológicos tanto de Darwin como de Lamarck tiveram um papel importante na elaboração de suas teorias sobre a transmutação das espécies, consideramos importante tratar também desses aspectos na parte histórica dos livros-texto sobre a evolução.

Em relação à minha atividade docente em Ciências no Ensino Fundamental II, diante da carência de materiais didáticos relacionados à História da Ciência, no Capítulo 5, foi elaborada uma sequência didática sobre as teorias “evolutivas” do século XIX e suas relações com os estudos sobre as rochas e superfície da Terra, focando nas contribuições de Lamarck e Darwin. Nela propusemos diversas atividades que visam a participação dos estudantes, como em um jogo que envolve aspectos lúdicos e o incentivo à reflexão, o conhecimento prévio dos estudantes, o uso de imagens e discussões em grupo.

Como referenciais teóricos, utilizamos Martine Méheut & Psillos (2004) e Antoni Zabala (1998). Esta sequência procurou atender às expectativas Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) como da *Base Nacional Comum Curricular* (BNCC). A sequência didática de evolução foi validada,

Esperamos que a pesquisa histórica bem como a sequência didática, possam contribuir para uma melhor compreensão das propostas evolutivas de Lamarck e Darwin, do papel dos aspectos geológicos e paleontológicos, das concepções evolutivas atuais e para o ensino-aprendizagem de evolução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, p. 179-195, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9>>. Acesso em: 17/01/2020.
- ALLCHIN, Douglas. The Minnesota case study collection: New historical inquiry case studies for nature of science education. **Science & Education**, v. 21, n. 9, p. 1263-1281, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11191-011-9368-x>>. Acesso em: 17/01/2020.
- ANONYMOUS. Review of Playfair's illustrations of the Huttonian theory of the Earth. **Edinburg Review**, v. 1, p. 202, 1802.
- BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC). Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/abril-2018-pdf/85121-bncc-ensino-medio/file>> Acesso em 01/03/2021.
- BEER, Gavin de. Darwin, Charles Robert. Pp. 565-584, *in*: GILLISPIE, Charles Coulston (ed). **Dictionary of Scientific Biography**. Vol. 3, New York: Charles Scribner's Sons,
- BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. **Ensino de evolução e história do darwinismo**. São Paulo, 1991. Tese (Doutorado em Didática) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/T.48.1991.tde-16082013-145625>> Acesso em: 01/06/2021.
- BOWLER, Peter. **Evolution: the history of an idea**. Berkeley: University of California Press, 1989.
- BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>> Acesso em 23/02/2020.
- BUCKLAND, William. **Reliquiae Diluvianae**. London: John Murray, 1823.
- BURKHARDT, Richard Wellington. Lamarck, evolution, and the politics of science. **Journal of the History of Biology**, v. 3, p. 275-98, 1970. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00137355>> Acesso em: 01/06/2021.
- BURKHARDT, Richard Wellington. The zoological philosophy of J. B. Lamarck. Pp. xv-xxxix, *in*: LAMARCK, Jean- Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de. **Zoological Philosophy**. Vol. 1. Trad. Hugh Elliot. Chicago: University of Chicago, 1984.

- BURCHFIELD, Joe D. Darwin and the dilemma of geological time. *Isis*, v. 65, n. 3, p. 301-321, 1974. Disponível em: <<https://doi.org/10.1086/351300>> Acesso em: 01/06/202.
- BURLINGAME, Leslie J. Lamarck, Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet de. Pp. 584-594, *in*: GILLISPIE, Charles Coulston (ed). **Dictionary of Scientific Biography**. Vol. 7, New York: Charles Scribner's Sons, 1981.
- CANNON, Walter F. The uniformitarianism catastrophism debate. *Isis*, v. 51, n. 1, p. 38-55, 1960. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/227604>>. Acesso em: 17/01/2020.
- CARMO, Viviane Arruda do. **Episódios da história da biologia e o ensino da ciência: as contribuições de Alfred Russel Wallace**. São Paulo, 2011. Tese (Doutorado em Educação). Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/T.48.2011.tde-30082011-135656>> Acesso em: 01/06/2021.
- CARNEIRO, Maria Helena da Silva.; GASTAL, Maria Luiza. História e Filosofia das Ciências no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 33-39, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000100003>> Acesso em: 01/06/2021.
- CAROZZI, Albert V. Lamarck's theory of the Earth. *Hydrogéologie*. *Isis*, v. 55, n. 3, p. 293-307, 1964a. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/228572>>. Acesso em: 17/01/2020.
- CAROZZI, Albert. Preface: Editor's introduction. Pp. v-vi, 1-11, *in*: LAMARCK, Jean Baptiste. **Hydrogeology** [1802]. Trad. Albert V. Carozzi. Urbana: University of Illinois, 1964b.
- COLEMAN, William. Lyell and the "reality" of species: 1830-1833. *Isis*, v. 53, n. 3, p. 325-338, 1962. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/227785>>. Acesso em: 17/01/2020.
- CUVIER, Georges. Discours préliminaire. Pp. 1-116, *in*: CUVIER, Georges. **Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes**. Vol. 1. Paris: Deterville, 1812. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/60807>>. Acesso em: 17/01/2020.
- CUVIER, Georges. **Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produites dans le regne animal**. Paris: Chez Dufour et Ed. D'Ocagne, 1826. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/96253>>. Acesso em: 17/01/2020.
- D'AMBROSIO, Marcela; BIZZO, Nelio; DOS SANTOS, Fernando Santiago. Difficulties in teaching evolution due to the influence of teleology. **Filosofia e História da Biologia**, v. 13, n. 2, p. 191-206, 2018. Disponível em: <[95](https://www.abfhib.org/FHB/FHB-13-2/FHB-</p>
</div>
<div data-bbox=)

[13-02-03-MarcelaDAmbrosio-NelioBizzo-FernandoSSantos.pdf](#)>. Acesso em: 17/01/2020.

DARWIN, Charles Robert. Observations on the Parallel Roads of Glen Roy, and of other parts of Lochaber in Scotland, with an attempt to prove that they are of marine origin. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 129, pp. 39-81, 1839. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1839.0005>>. Acesso em: 17/01/2020.

DARWIN, Charles Robert. **The structure and distribution of coral reefs**. Being the first part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836. London: Smith Elder and Co, 1842. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1842_Coral_F271.pdf>. Acesso em: 17/01/2020.

DARWIN, Charles Robert. **Geological observations on the volcanic islands visited during the voyage of H.M.S. Beagle, together with some brief notices of the geology of Australia and the Cape of Good Hope**. Being the second part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836. London: Smith Elder and Co, 1844. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1844_VolcanicIslands_F272.pdf> Acesso em: 17/01/2020.

DARWIN, Charles Robert. **Geological observations on South America**. Being the third part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836. London: Smith Elder and Co, 1846. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846_SouthAmerica_F273.pdf> Acesso em: 17/01/2020.

DARWIN, Charles Robert. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life** [1859]. 6th edition. London: John Murray, 1872. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1872_Origin_F391.pdf>. Acesso em: 17/01/2020.

DARWIN, Charles R. **Autobiography**. London: John Murray, 1887.

ELLENBERGER, François. **History of Geology. The great awakening and its first fruits, 1660-1810**. Trad. A. A. Balkema. Rotterdam: Brookfield, 1999.

GERSTNER, Patsy A. James Hutton's theory of the Earth and his theory of matter. **Isis**, v. 59, n. 1, p. 26-31, 1968. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/227849>>. Acesso em: 17/01/2020.

- GEIKE, Archibald. **Charles Darwin as geologist**. Cambridge: University Press, 1909.
- GOHAU, Gabriel. Introduction. p. ix-xxv, *in*: Buffon, Georges Louis Leclerc, Comte de. **Des époques de la nature, introduction et notes de Gabriel Gohau** [1971]. Paris: Diderot, 1998.
- GOULD, Stephen Jay. Is uniformitarianism necessary? **American Journal of Science**, v. 263, n. 3, p. 223-228, 1965. Disponível em: <<https://doi.org/10.2475/ajs.263.3.223>> Acesso em: 01/06/2020.
- HERBERT, Sandra; NORMAN, David. Darwin's Geology and Perspective on the Fossil Record. Pp. 129-152, *in*: RUSE, Michael; RICHARDS, Robert J. **The Cambridge companion to the "Origin of the species"**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009.
- HUGGET, Richard. **Cataclysms and Earth history. The development of diluvianism**. Oxford: Clarendon Press, 1989.
- HUTTON, James. **Theory of the Earth with proofs and illustrations** [1795]. New York: Hafner, 1960.
- LAMARCK, Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet. Mémoires sur les fossiles des environs de Paris. **Annales du Museum d' Histoire Naturelle de Paris**, v.1, p. 299-312; 383-391; 474-479, 1802a.
- LAMARCK, Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de. **Hydrogéologie**. Paris: Chez l'Auteur; Agasse, Maillard, 1802b.
- LAMARCK, Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de. **Hydrogeology** [1802]. Trad. Albert V. Carozzi. Urbana: University of Illinois, 1964.
- LANDRIEU, Marcel. Lamarck, le fondateur du transformisme: sa vie, son oeuvre. **Mémoires de la Société Zoologique de France**, v. 21, p. 1-469, 1908.
- LAUDAN, Rachel. Ideas and organization in British geology: a case study in institutional history. **Isis**, v. 68, n. 4, p. 527-538, 1977. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/230007>>. Acesso em: 17/01/2020.
- LAUDAN, Rachel. **From mineralogy to geology. The foundations of a science, 1650-1830**. Chicago/London: University of Chicago Press, 1987.
- LEDERMAN, Norman G. Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. 301-317, *in*: Flick, Lawrence B.; LEDERMAN, Norman G. (ed.). **Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher education**. Vol. 25.

- Dordrecht: Springer, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1_14>. Acesso em: 01/06/2021.
- LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present and future. Pp: 831-880, *in*: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (eds.). **Handbook of research on science education**. Mshwah, N.J.: Laurence Erlbaum Associates, 2007.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. O papel da geração espontânea na teoria da progressão dos animais de J. B. Lamarck. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 11, p. 57-65, 1994.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A cadeia dos seres vivos: a metodologia e epistemologia de Lamarck. Pp. 40-46, *in*: ALVES, Isidoro Maria & GARCIA, Elena Moraes (eds.). **Anais do VI Seminário de História da Ciência e Tecnologia da Sociedade Brasileira de História da Ciência**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de História da Ciência, 1997a.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Lamarck e as quatro leis da variação das espécies. **Epistême**. Filosofia e História da Ciência em Revista, v. 2, n. 3, pp. 33-54, 1997b.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A história da ciência e o ensino de biologia. **Ciência & Ensino**, n. 5, p. 18-21, 1998. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/fevereiro2013/ciencias_artigos/historia_ciencia.pdf>. Acesso em: 17/01/2020.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da ciência, objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000200011>>. Acesso em: 17/01/2020.
- MARTINS, Lilian A.-C. P. *Materials for the study of variation* de William Bateson: um ataque ao Darwinismo? Pp. 259-282, *in*: MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; REGNER, Anna Carolina Krebs Pereira & LORENZANO, Pablo (eds.). **Ciências da Vida: Estudos históricos e filosóficos**. Campinas: AFHIC (Associação de História e Filosofia do Cone Sul), 2006.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. **A teoria da progressão dos animais de Lamarck**. Rio de Janeiro: BookLink; São Paulo: FAPESP, 2007.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. O papel dos fósseis na teoria da progressão dos animais de Lamarck. **Revista Helius**, v. 3, n. 2, fasc. 1, p. 563-598, 23 mar. 2021. Disponível em: <<https://helius.uvanet.br/index.php/helius/article/view/197>>. Acesso em: 01/06/2021.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; BAPTISTA, Ana Maria Haddad. Lamarck, evolução orgânica e tempo. **Filosofia e História da Biologia**, v. 2, p. 279-296, 2007. Disponível em:

<https://www.abfhib.org/FHB/FHB-02/FHB-v02-17-Lilian-Martins_Ana-Haddad-Baptista.pdf>. Acesso em: 17/01/2020.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; BRITO, Ana Paula Oliveira Pereira de Moraes. A história da ciência e o ensino de genética e evolução no nível médio: um estudo de caso. Pp. 245-264, *in*: SILVA, Cibelle Celestino da (org.). **Estudos de História e Filosofia da ciência. Subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; MARTINS, Roberto de Andrade. A metodologia de Lamarck. **Trans/Form/Ação**, v. 19, p. 115-38, 1996b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-31731996000100008>>. Acesso em: 01/06/2021.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, p. 3-7, 1990. Disponível em: <<http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/ram-42.pdf>>. Acesso em: 17/01/2020.

MATTHEWS, Michael R. History, philosophy and science teaching: the present rapprochement. **Science & Education**, v.1, n. 1, p. 11-47, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00430208>>. Acesso em: 01/06/2021.

MATTHEWS, Michael R. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.

MATTHEWS, Michael R. **Science teaching: the contribution of history and philosophy of science**. 20th Anniversary and expanded edition. 2nd edition. New York and London: Routledge, 2015.

MAYR, Ernst. **The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution and Inheritance**. Cambridge, MA/London/England: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

MCCOMAS, William F. (Ed.). **Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies**. Cham: Springer, 2020.

MCCOMAS, William F.; CLOUGH, Michael P. Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations. Pp. 3-22, *in*: MCCOMAS, William F. (Ed.). **Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies**. Cham: Springer, 2020.

MCCOMAS, William F.; CLOUGH, Michael P.; NOURI, Noushin. Nature of Science and Classroom Practice: a Review of the Literature with Implications for Effective NOS Instruction. Pp. 67-114, *in*: MCCOMAS, William F. (Ed.). **Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies**. Cham: Springer, 2020.

- MÉHEUT, Martine; PSILLOS, Dimitris. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>> Acesso em 01/03/2021.
- MEUNIER, Stanislas. **L' évolution des theories geologiques**. Paris: Felix Alcan, 1911.
- OLDROYD, David R. **Thinking about the Earth. A history of ideas in geology**. London: Athlone, 1996.
- OLIVEIRA, Graciela Silva; BIZZO, Nélio. Evolução biológica e os estudantes brasileiros: conhecimento e aceitação. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 20, n. 2, p. 161-185, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v20n2p16>> Acesso em: 01/03/2021.
- PACKARD, Alpheus Spring. **Lamarck. The founder of evolution**. London/Bombay: Longmans, Green & Co., 1901.
- PÉREZ, Daniel Gil; MONTORO, Isabel F.; ALÍS, Jaime C.; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**. v. 7, n. 2, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>>. Acesso em: 01/03/2021.
- PLAYFAIR, John. **Illustrations of the Huttonian theory of the Earth** [1802]. New York: Dove, 1964.
- PRESTES, Maria Elice Brzezinski. Lazzaro Spallanzani e os fósseis da Ilha grega de Cítera. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v. 5, n. 1, p. 9-13, mar. 2011. Versão online disponível em: <<http://www.abfhib.org//Boletim-HFB-05-n-1-Mar-2011.pdf>> Acesso em 23/01/2018.
- PRESTES, Maria Elice Brzezinski Prestes; CALDEIRA, Ana Maria Andrade. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 1-16, 2009. Disponível em: <<https://www.abfhib.org/FHB/FHB-04/FHB-v04-0-Maria-Elice-Prestes-Ana-Maria-Caldeira.pdf>> Acesso em: 23/01/2018.
- RUDWICK, Martin R. The strategy of Lyell's Principles of geology. **Isis**, v. 61, n. 1, p. 4-33, 1970. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/229146>> Acesso em 23/01/2018.
- RUDWICK, Martin R. Cuvier and Brongniart, William Smith, and the reconstruction of geohistory. **Earth Sciences History**, v. 15, n. 1, p. 25-36, 1996. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/24138559>> Acesso em: 17/01/2020.

- RUPKE, Nicholas. **Richard Owen: Victorian naturalist**. New Haven. Yale University Press. 1994.
- SAMPAIO, Willian Franklin. **A paleontologia no ensino de ciências: uma proposta de formação continuada para professores**. Jaboticabal, 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino e Processos formativos). Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/192325>>. Acesso em: 15/12/2020.
- SECORD, Jim. The discovery of a vocation: Darwin's early geology. **Journal for the History of Science**. v. 24, n. 2, p. 133-157, 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0007087400027059>>. Acesso em: 01/06/2021.
- WHEWELL, William. Review of the Principles of geology by Charles Lyell. Volume 2. **The Quarterly Review**, v. 47, p. 103-32, 1832.
- WILSON, Leonard. Lyell, Charles. Pp. 1753-1767, *in*: BENJAMIN, César (Ed.). **Dicionário de Biografias Científicas**. Vol. 1. Rio de Janeiro: Contraponto Editora. 2007.
- ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Trad. Ernani F. da Rosa – Porto Alegre: ArtMed, 1998.