



Universidade de Brasília

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA**

DOUGLAS NASCIMENTO SANTANA

**A EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS
EVOLUCIONISTAS:
CAUSALIDADE E MATEMATIZAÇÃO**

BRASÍLIA-DF

2025

SS232e

Santana, Douglas Nascimento

A evolução dos conceitos evolucionistas: causalidade e matematização / Douglas Nascimento Santana; orientador Samuel José Simon; co-orientador Rosana Tidon. Brasília, 2025.

289 p.

Tese (Doutorado em Filosofia) Universidade de Brasília, 2025.

1. Evolucionismo. 2. Causalidade. 3. Síntese Evolutiva Moderna. 4. Matematização. 5. Modelos mecanicistas. I. Simon, Samuel José, orient. II. Tidon, Rosana, co-orient. III. Título.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

**A EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS EVOLUCIONISTAS:
CAUSALIDADE E MATEMATIZAÇÃO**

DOUGLAS NASCIMENTO SANTANA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Filosofia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Samuel José Simon, Universidade de Brasília (Orientador)

Profa. Dra. Rosana Tidon, Universidade de Brasília (Coorientadora)

**Prof. Dr. Gustavo Caponi, Universidade Federal de Santa Catarina
(Examinador Externo)**

**Prof. Dr. Maxwell Moraes de Lima Filho, Universidade Federal do Cariri
(Examinador Externo)**

Prof. Dr. Agnaldo Cuoco Portugal, Universidade de Brasília (Examinador Interno)

Prof. Dr. André Leclerc, Universidade de Brasília (Suplente - Examinador Interno)

Brasília – DF, 2025

Dedico este trabalho à
Thaís, Daniele e Theo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa, Thaís Aurora, pela escuta sempre atenta e interessada, em todos os almoços e jantares em que eu não parava de falar de Kant, Popper, Darwin, Fisher e muitas outras companhias que insistiam em sentar-se à mesa conosco.

Agradeço a meus filhos, Daniele Aurora e Theo, pela tranquila compreensão por eventuais ausências, mesmo sem compreender bem as razões.

Agradeço ao meu orientador, o Professor Dr. Samuel José Simon, e a minha coorientadora, a Professora Dra. Rosana Tidon, pelas dedicadas, rigorosas e construtivas análises e revisões das versões do texto e pelas agradáveis e produtivas reuniões.

A filosofia não é uma doutrina, mas uma atividade.

Sem a filosofia, os pensamentos são, por assim dizer, nebulosos e indistintos: sua tarefa é torná-los claros e dar-lhes contornos nítidos.

Ludwig Wittgenstein

RESUMO

Todos os fenômenos do mundo material possuem causas. O entendimento da causa, do efeito e de suas relações é o problema endereçado pelas reflexões filosóficas sobre a causalidade. A racionalidade científica é a mais confiável ferramenta cognitiva para o estabelecimento da causalidade, de modo que os modelos de causalidade científica são metateorias, que, por um lado, são formadas a partir dos padrões de explicações causais das ciências e que, por outro, enquadram as próprias teorias científicas. O objetivo principal deste trabalho é refletir sobre como os princípios do modelo de causalidade mecânica e a epistemologia verificacionista das ciências modernas e contemporâneas, de matriz nas ciências físicas, influenciaram no desenvolvimento epistemológico do evolucionismo, como esses princípios exerceram essa influência e em que medida essa influência repercutiu nos fundamentos de validade e efetividade das explicações evolucionistas. O recorte temporal contempla a evolução dos conceitos evolucionistas desde a publicação da *Origem das espécies*, por Charles Darwin, em 1859, até a decisiva fase inicial da Síntese Evolutiva Moderna, até por volta de 1940, com foco nas contribuições de Ronald Fisher, Sewall Wright, John Haldane e Theodosius Dobzhansky. A linha reflexiva consiste em uma análise lógico-conceitual, de base historiográfica, do desenvolvimento epistemológico dos principais conceitos evolucionistas: ancestralidade comum, evolução ao longo do tempo, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação. A fundamentação dos conceitos evolucionistas assenta-se sobre diferentes bases racionalistas e empiristas, logo a teoria não pode ser validada como um monolito conceitual homogêneo. Ancestralidade comum e evolução, em ambas as vias (anagênese e cladogênese), recorrem, para suas validações, à arborização da diversidade da vida, por meio das representações imagéticas da filogenia. Variação populacional e hereditariedade desfrutam de estratégias de demonstração e testabilidade muito próximas das utilizadas pelas ciências físicas, podendo recorrer à matematização dos fenômenos, à sistematização com modelos mecanicistas e à experimentação para a indução, a verificação e a refutação de regularidades. Seleção natural e adaptação, por sua vez, que, em Darwin, conformavam-se como princípios normativos deduzidos, por analogia, a partir de observações de pecuaristas e horticultores, complementados por conceitos da Economia, ganharam, com a Síntese, robustos arcabouços da estatística de populações e fundamentação lógica em um modelo de causalidade probabilística. As reflexões sobre o desenvolvimento epistemológico do evolucionismo permitem, entre outras conclusões, entender que seus conceitos possuem diferentes valores cognitivos, que as conclusões por eles permitidas possuem diferentes alcances e limites e que a solução para os problemas epistemológicos que eles continuam a enfrentar após a Síntese precisa de ser buscada por diferentes caminhos intelectuais.

Palavras-chave: evolucionismo. causalidade. Síntese Evolutiva Moderna. matematização. modelos mecanicistas.

ABSTRACT

All phenomena in the material world have causes. Understanding cause, effect, and their relationships is the problem addressed by philosophical reflections on causality. Scientific rationality is the most reliable cognitive tool for establishing causality, so that models of scientific causality are framework theories that, on the one hand, are formed from the patterns of causal explanations of science and, on the other hand, frame scientific theories themselves. The main objective of this work is to reflect on how the principles of the mechanical causality model and the verificationist epistemology of modern and contemporary sciences – rooted in the physical sciences – influenced the epistemological development of evolutionism, how these principles exerted that influence, and to what extent this influence had impact on the foundations of validity and effectiveness of evolutionary explanations. The time frame of the analysis covers the evolution of evolutionary concepts from the publication of *The Origin of Species* by Charles Darwin, in 1859, to the decisive initial phase of the Modern Evolutionary Synthesis, up to around 1940, focusing on the contributions of Ronald Fisher, Sewall Wright, John Haldane and Theodosius Dobzhansky. The method of reflection consists of a logical-conceptual analysis, based on historiography, of the epistemological development of the main evolutionary concepts: common ancestry, evolution over time, population variation, heredity, natural selection and adaptation. The foundation of evolutionary concepts is based on different rationalist and empiricist bases; therefore, the theory cannot be validated as a homogeneous conceptual monolith. Common ancestry and evolution, in both pathways (anagenesis and cladogenesis), resort to the tree-forming of the diversity of life, through image-based representations of phylogeny, for their validation. Population variation and heredity benefit from demonstration and testability strategies that are very similar to those used by the physical sciences, and can resort to the mathematization of phenomena, systematization with mechanistic models, and experimentation for the induction, verification, and refutation of regularities. Natural selection and adaptation, in turn, which in Darwin were normative principles deduced by analogy from observations of livestock farmers and horticulturists, complemented by concepts from Economics, gained, from the Synthesis, robust frameworks in population statistics and logical foundations in a model of probabilistic causality. Reflections on the epistemological development of evolutionism allow us, among other conclusions, to understand that its concepts have different cognitive values, that the conclusions they allow have different scopes and limits, and that the solution to the epistemological problems that they continue to face after the Synthesis needs to be sought through different intellectual paths.

Keywords: evolutionism. causality. Modern Evolutionary Synthesis. mathematization. mechanistic models.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fontes primárias para a reflexão sobre o desenvolvimento lógico-conceitual do evolucionismo: pensadores evolucionistas e respectivas obras selecionadas

Quadro 2: Exemplo de aplicação do método indutivo de concordância e diferença

Quadro 3: Etapas de formulação dos principais conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural de Darwin

Quadro 4: Principais conceitos evolucionistas enunciados por Darwin na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural

Quadro 5: Desenvolvimento conceitual da hereditariedade: da blending inheritance à particulate inheritance

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	VIII
INTRODUÇÃO	12
A. O problema filosófico da causalidade	12
B. Desenho do percurso reflexivo	17
CAPÍTULO 1: MODELOS DE CAUSALIDADE DAS CIÊNCIAS.....	29
1.1 O modelo de causalidade aristotélico	32
1.1.a Refinamento dos métodos de indução	34
1.2 O modelo da causalidade mecânica.....	37
1.2.a Princípios físicos básicos.....	42
1.2.b Interação mecânica e atomismo	45
1.3 Uma epistemologia verificacionista	47
1.4 Universalização da causalidade mecânica	52
CAPÍTULO 2: O MODELO EXPLICATIVO EVOLUCIONISTA DARWINIANO.....	54
2.1 Explicações naturalistas pré-darwinianas	55
2.2 Princípios básicos do evolucionismo.....	62
2.3 A Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural	63
2.4. Fundamentos de validade e efetividade da teoria evolucionista darwiniana	76
2.4.a A noção de tempo geológico	77
2.4.b As bases naturalistas do evolucionismo darwiniano.....	80
2.4.c O empirismo de Darwin.....	96
2.4.d As bases nomológicas do evolucionismo darwiniano	107
2.4.e Darwinismo e ciências físicas: permanências e mudanças	110
2.4.f O inapreensível dos fenômenos evolutivos.....	114

CAPÍTULO 3: SÍNTESE EVOLUTIVA MODERNA E A MATEMATIZAÇÃO DA CAUSALIDADE EVOLUCIONISTA 119

3.1 Síntese Evolutiva Moderna: uma fusão em múltiplas dimensões.....	122
3.2 Origens da variação herdável	130
3.3 Da variação fenotípica à variação genética	136
3.4 A perspectiva estatística do conceito de populações	139
3.5 Encadeamento causal mutação-evolução.....	142
3.6 Da <i>blending inheritance</i> à <i>particulate inheritance</i>	146
3.7 Gradualismo versus Saltacionismo	159
3.8 Teoria Genética da Seleção Natural.....	164
3.8.a Encadeamento causal: mutação-fixação-evolução.....	170
3.9 Vantagem seletiva, sobrevivência e seleção reprodutiva: da discricionariedade à matemática probabilística	175
3.10 Teorema Fundamental da Seleção Natural	180
3.11 A matemática e os ajustes na causalidade evolucionista	184
3.12 Efeitos da seleção natural.....	186
3.13 O acaso	190
3.14 Adaptação como conformidade	195

CAPÍTULO 4: SÍNTESE EVOLUTIVA MODERNA E AS BASES RACIONALISTAS, MECANICISTAS E EXPERIMENTAIS DA CAUSALIDADE EVOLUCIONISTA .. 203

4.1 Ancestralidade comum, evolução e representações epistemológicas	203
4.1.a Da classificação taxonômica à genealogia evolutiva	205
4.1.b Filogenia evolutiva: a arborização da causalidade evolutiva.....	210
4.1.c Velhos métodos, novas evidências.....	213
4.1.d Com a Síntese, novos métodos, novas evidências.....	214
4.1.e Aprimoramentos conceituais: anagênese e cladogênese	218
4.1.f Por um olhar epistemológico sobre as categorizações.....	221

4.1.g Validade do princípio da ancestralidade comum	225
4.1.h Efetividade do princípio da ancestralidade comum	230
4.2 Mecanicização das causas e evolucionismo	235
4.2.a Representações mecanicistas	235
4.2.b Mecanismos na base da variação populacional e da hereditariedade	238
4.3 As bases nomológicas das explicações evolucionistas	246
4.3.a Evolução, causalidade probabilística e equilíbrio inovação-conservação	248
4.4 Empirismo e experimentação nas ciências biológicas	253
4.5 O argumento historiográfico no evolucionismo	259
4.6 Alguns desafios epistemológicos e provocações filosóficas	261
4.6.a Um mundo após Popper: testabilidade e refutabilidade dos conceitos evolucionistas	262
4.6.b Seleção natural: lei, força, conceito operativo, processo, mecanismo?	267
CONCLUSÃO	273
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	279

INTRODUÇÃO

A. O problema filosófico da causalidade

O que é causa? Lato sensu, causa é a resposta dada à pergunta “por quê?”. A investigação do porquê é, portanto, uma investigação causal¹. A estruturação de um questionamento causal parte, necessariamente, da premissa de existência de um efeito como consequência da existência de uma causa. O entendimento da causa, do efeito e de suas relações é o problema endereçado pelas reflexões filosóficas sobre a causalidade².

Todos os fenômenos³ do mundo material – aquele que, diretamente ou por meio de instrumentos, observamos ou experimentamos por meio dos sentidos – possuem causas. Quando acessamos as causas desses fenômenos, ampliamos nosso conhecimento de mundo, conhecimento aqui entendido em seu sentido mais amplo. O princípio de causalidade é, portanto, um instrumento de racionalidade para o alcance de conhecimento de mundo.

Bem verdade, o princípio da causalidade não é, certamente, o único caminho para o conhecimento. Para Immanuel Kant, a causalidade é dos conceitos relacionais que integra as doze categorias do entendimento humano:

Um conceito desse tipo é um conceito puro *a priori* do entendimento, que nada mais faz senão simplesmente determinar, para uma intuição, o modo geral pelo qual ela pode servir para julgar[...] O conceito de causa é, portanto, um conceito puro do entendimento, completamente distinto de toda percepção possível, e serve apenas, no que diz respeito ao julgar em geral, para determinar aquela representação que está

¹ A investigação do porquê que fundamenta a causalidade enseja, em circunstâncias particulares, a busca por respostas a outros questionamentos, como “o quê?” ou “quem?” causa um dado efeito, ou “como?” o efeito é produzido pela causa, entre outros. Aprofundaremos a discussão sobre os modelos de causalidade no Capítulo 1.

² O problema da causalidade é objeto de extensa análise filosófica. Dentre os vários estudos sobre o assunto, podemos mencionar: SOSA; TOOLEY, 1993; TOOLEY, 1988; TOOLEY, 1997; KISTLER, 2006; DOWE, 2007; BEEBEE; HITCHCOK; MENZIES, 2009; PSILLOS, 2009; BEEBEE, HITCHCOK; PRICE, 2017.

³ A noção de fenômeno também é extensamente analisada pelo pensamento filosófico, especialmente após a *Crítica da Razão Pura*, de Immanuel Kant. Aqui, adotamos o termo em um sentido amplo, considerando os objetos de investigação das ciências: *eventos* – uma descarga elétrica, a queda livre de um corpo -; *processos* – uma reação química, um movimento de placas tectônicas -; *interações* físicas, biológicas, etc. No entanto, essa noção não se esgota nesses casos: alguns conceitos são também considerados, eles próprios, fenômenos quando analisados no interior de uma teoria científica. A título de exemplo, tomemos o termo teórico *gravitação*. Essa noção é explicada por equações diferentes, se compararmos às formulações newtonianas com as formulações da teoria da relatividade geral de Einstein. Ainda nesse caso, todavia, ambas as teorias concordam que os objetos sofrem uma interação, que constitui o fenômeno de gravitação, e que, no limite de certos valores, coincide em suas determinações.

contida sob ele e, assim, tornar possível um juízo universalmente válido⁴ (KANT, 2004, p. 52)⁵.

A importância do princípio de causalidade – classificado por Kant como uma das analogias da experiência – para o entendimento humano não é, no entanto, marginal: ele é o principal instrumento de racionalidade a que podemos recorrer para organizar o conhecimento oriundo das observações e experiências do mundo material assimiladas pelos sentidos, ditas empíricas (POPPER, 1985). Se não podemos alcançar todo o conhecimento de mundo apenas por meio da reflexão filosófica em nós mesmos; se a reflexão filosófica sobre o mundo empírico é também necessária; ora, a reflexão filosófica sobre o princípio da causalidade, principal instrumento para o entendimento do mundo empírico, é, por corolário, indispensável em nossa busca por conhecimento verdadeiro. É com base nesse entendimento sobre o princípio da causalidade que procederemos nossa reflexão filosófica neste trabalho.

Dentre os sistemas de conhecimento humano que buscam a compreensão do funcionamento do mundo material, o estabelecimento de relações causais é um recurso primaz para, ao menos, dois importantes e distintos tipos de sistemas de conhecimento⁶: a racionalidade do senso comum e a racionalidade científica (POPPER, 1985). Em ambas as racionalidades, como ponto de partida, o indivíduo atribui a alguns entes do mundo empírico o caráter de causa, a outros o caráter de efeito⁷. Em seguida a essa categorização, esse indivíduo avança, seja de forma impensada, seja de forma refletida, a um nível de abstração intelectual em que examina e supõe como necessária ou recorrente a associação existente entre esses dois entes, tal que, se a causa é retirada, o efeito não ocorre, conforme enunciado por Galileu Galilei (YAKIRA, 1994,

⁴ Todas as citações em língua estrangeira (inglesa, francesa e espanhola) deste trabalho são traduções livres, efetuadas pelo próprio autor. Para servir de referência para consulta, o texto original, na língua da obra que foi utilizada como fonte da citação será disponibilizado em nota de rodapé associada à respectiva tradução.

⁵ Traduzido de KANT, 2004, p. 52: "A concept of this kind is a pure a priori concept of the understanding, which does nothing but simply determine for an intuition the mode in general in which it can serve for judging [...] The concept of cause is therefore a pure concept of the understanding, which is completely distinct from all possible perception, and serves only, with respect to judging in general, to determine that representation which is contained under it and so to make possible a universally valid judgment".

⁶ Sobre outros sistemas de conhecimento humano que recorrem à noção de causalidade em suas explicações, ver, por exemplo, EL-HANI, Charbel N., POLISELI, Luana, et LUDWIG, David. Beyond the divide between indigenous and academic knowledge: Causal and mechanistic explanations in a Brazilian fishing community. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 91, p. 296-306, 2022; Franklin S. Science as culture, cultures of science. *Annual Review of Anthropology*, v. 24: 163-184, 1995; Agrawal A. Why "indigenous" knowledge? *Journal of the Royal Society of New Zealand*, v. 39, p. 157-158, 2009; ou DICKISON, Mike. The asymmetry between science and traditional knowledge, *Journal of the Royal Society of New Zealand*, vol. 39, n. 4, p. 171-172, 2009.

⁷ SIMON e SANTANA (2020) desenvolvem uma perspectiva mais geral de causalidade física, tendo como base as noções de simetria matemática e de estado dos sistemas físicos. Ver SIMON, Samuel; SANTANA, Ademir. Causation, Symmetry and Time Irreversibility. In: BALSAS, A.; NOBRE, B. (Org.). *Axioma Studies in Philosophy of Nature and in Philosophy and History of Science*. 1ª edição. Lisboa: Axioma - Publicações da Faculdade de Filosofia, 2020, v., p. 105-122.

p. 9). Por fim, o indivíduo volta-se novamente em direção ao mundo empírico para, recorrendo a métodos específicos, em uma ou múltiplas observações, confirmar se a suposta cadeia de interação entre causa e efeito é efetiva, no sentido de adequação à realidade para a explicação de fenômenos similares. Se, ao final desse encadeamento lógico, é alcançada a conclusão de que a causa é responsável pela ocorrência do efeito, a associação existente entre os dois entes é assumida por esse indivíduo como sendo do tipo causal. A associação causal assim constituída passará a compor, portanto, o conhecimento de mundo desse indivíduo.

Embora a causalidade seja um recurso essencial tanto para o senso comum quanto para as ciências, o estabelecimento da associação causal não se procede da mesma forma em ambos os sistemas de conhecimento. Há diferenças no que se trata dos critérios usados para a definição dos entes típicos (causa e efeito), dos tipos de relações lógicas e empíricas estabelecidas entre esses entes e da avaliação da efetividade da associação (adequação da relação estabelecida entre causa e efeito à experiência da realidade empírica). Neste trabalho, refletiremos sobre a aplicação do princípio da causalidade como recurso de racionalidade para o alcance do conhecimento apenas pelas ciências, por julgarmos que as ciências nos fornecem critérios mais rigorosos para entender o mundo empírico que os outros sistemas de conhecimento. Uma vez que, conforme nos ensina Platão em *Teeteto*, conhecimento é crença verdadeira justificada (KLITZKE, 2019), entendemos ser a ciência a melhor ferramenta cognitiva para a justificação do conhecimento sobre o mundo empírico. No exercício, como filósofo, de nossa atividade intelectual de sistematização e organização do conhecimento, temos especial predileção, portanto, pela reflexão sobre as ciências empíricas e as possibilidades por ela franqueadas de acesso ao conhecimento sobre o mundo material.

A escolha de nosso objeto de estudo neste trabalho reflete esse nosso entendimento sobre causalidade e ciências. Assim sendo, se, como entendemos, a causalidade é um dos mais importantes recursos do entendimento a que recorremos para ter acesso ao conhecimento sobre o mundo empírico; se a racionalidade científica é a mais confiável ferramenta cognitiva para o estabelecimento da causalidade; e se responder ao “porquê” que funda a ideia de causalidade é um dos principais objetivos (senão o principal) da investigação científica; ora, ao investigarmos os fundamentos da causalidade, seja nas ciências em geral, seja em uma teoria científica em particular, tarefa a que aqui nos proporemos, estaremos adentrando o núcleo de reflexões das mais relevantes, simultaneamente, para a filosofia da ciência e para as próprias ciências. Afinal, “todas as hipóteses científicas possuem este caráter: elas são relações causa-efeito provisórias

que parecem ser plausíveis às luzes de uma teoria aceita (conhecimento existente organizado) ”⁸ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.3).

A investigação filosófica da causalidade dos fenômenos do mundo material parte da exigência de que as explicações que se proponham causais respondam a três questionamentos: 1) o que tipifica uma entidade como “causa” ou “efeito”?; 2) qual é a relação existente entre o ente-causa e o ente-efeito?; e 3) quais critérios são utilizados para confirmar a validade e a efetividade da relação estabelecida entre o ente-causa e o ente-efeito? (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009; LOSEE, 2011, p. vii; PEARL, 2009).

O primeiro questionamento possui natureza ontológica, por referir-se aos critérios definidores do que caracteriza uma causa ou um efeito. Afirmar que esses entes são corpos, eventos ou sistemas, e apresentar os critérios definidores dessa caracterização é, por exemplo, uma resposta possível à primeira pergunta.

O segundo questionamento possui natureza epistemológica, por referir-se a como apreendemos, intelectualmente, a relação existente entre os entes que foram definidos como causa e efeito em resposta à primeira pergunta. Em resposta a esse segundo questionamento, cabe à explicação científica⁹ que se propõe causal estabelecer uma relação entre a causa e o efeito que seja racionalmente coerente, do ponto de vista lógico-dedutivo e empírico.

O terceiro e último questionamento diz respeito aos procedimentos metodológicos utilizados para avaliar a validade interna do argumento que suporta a relação entre causa e efeito e a adequação da explicação proposta à experiência da realidade empírica (efetividade).

Ao longo da história, variadas respostas foram apresentadas a esses três questionamentos, inicialmente, pelos sistemas filosóficos, e, posteriormente, pelas teorias científicas dos mais

⁸ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.3: “*all scientific hypotheses have that character: they are provisional cause-effect relationships that seem plausible in the light of an accepted theory (organised existing knowledge)*”.

⁹ Explicação pode ser entendida, *latu sensu*, como uma argumentação lógica sobre como e porque os fenômenos ocorrem. Para Carl Hempel, uma explicação científica, por sua vez, consiste em mostrar que o fenômeno do mundo material a ser explicado (*explanandum*) pode ser deduzido, logicamente, a partir de um conjunto de premissas (*explanans*) e enquadrado em um conjunto de leis gerais e condições específicas (Ver HEMPEL, 1970). Além de Carl Hempel, Francis Bacon, David Hume, Bertrand Russell, entre outros pensadores, aportaram contribuições relevantes à epistemologia da explicação. Para nossos interesses neste trabalho, importa-nos que a noção de causalidade é, portanto, componente indissociável do conceito de explicação, incluindo de explicação científica. Em sua teoria das formas, Platão apresentou, simultaneamente, uma explicação sistemática para os fenômenos que analisava e uma primeira reflexão sobre a natureza mesma das explicações em geral. No entanto, é somente com a teoria das quatro causas de Aristóteles, que discutiremos adiante, que passa a ser separada, de fato, a reflexão sobre a epistemologia da explicação daquela voltada à investigação sobre a ocorrência dos fenômenos. Para maiores detalhes sobre noção de “explicação”, ver, por exemplo, ACHINSTEIN, Peter. *The nature of explanation*. Oxford University Press, 1983; ou RUBEN, David-Hillel. *Explaining explanation*. Routledge, 2015.

diversos campos do conhecimento. Embora essas respostas sejam heterogêneas em vários aspectos, é possível identificar nelas, contudo, padrões de racionalidade no estabelecimento das relações causais. Com desenvolvimento desses padrões, tornando-os progressivamente mais rigorosos e precisos em argumentação lógica e em método, eles constituirão verdadeiros modelos de causalidade, que enquadrarão o desenvolvimento posterior de novas explicações científicas. A partir do século XVI, como veremos adiante, as teorias desenvolvidas no âmbito das ciências físicas contribuíram de forma relevante e primaz para a formação desses modelos de causalidade, ao tempo em que passaram a ser por esses modelos também balizadas, em uma relação de contínua influência recíproca (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009). Em um segundo momento, esses modelos causais passaram a influenciar, também, as explicações causais de outros domínios do saber (AGUTTER; WHEATLEY, 2008).

No exercício dessa atividade intelectual de sistematização e organização do conhecimento, manifestamos, conforme antecipamos, especial predileção pela reflexão sobre as ciências empíricas e as possibilidades por ela franqueadas de acesso ao conhecimento sobre o mundo material. Entre os temas sobre os quais se debruça a filosofia da ciência, intrigam-nos sobremaneira os questionamentos sobre (i) em que medida os modelos de causalidade das ciências modernas e contemporâneas, de matriz nas ciências físicas, influenciaram teorias de outros domínios do saber, (ii) em que medida sua aplicação foi ajustável a essas ciências, bem como (iii) em que medida eventuais ajustes realizados na aplicação desses modelos influenciaram nos fundamentos de validade e efetividade das explicações causais assim formuladas. Dada a constatação de que a causalidade é a determinação do que se passa em um dado instante por aquilo que se passou no instante precedente (YAKIRA, 1994, p. 35), intrigam-nos, ademais, entender como esse recurso de racionalidade, cujo componente de temporalidade é estruturante, pode nos auxiliar a tornar inelegível os fenômenos caracterizados por mudanças ao longo do tempo.

Com essas preocupações em mente – influência dos modelos de causalidade na fundamentação das explicações científicas e aplicabilidade do princípio de causalidade na inteligibilidade dos fenômenos tempo-dependentes –, escolhemos as ciências biológicas, mais particularmente os modelos explicativos evolucionistas (cuja noção de mudança ao longo do tempo é componente epistemológico essencial à explicação) como objeto da reflexão filosófica sobre a causalidade a ser empreendida por nós neste trabalho.

O objetivo principal deste trabalho é, portanto, refletir sobre o desenvolvimento lógico-conceitual dos modelos explicativos evolucionistas ao longo do tempo, de sua formulação por

Charles Darwin até sua reformulação por um grupo de autores da Síntese Evolutiva Moderna por nós selecionados, à luz da influência dos princípios das ciências modernas e contemporâneas, sobretudo aqueles vinculados à noção de causalidade. Em nosso percurso em direção ao nosso objetivo principal, refletiremos sobre quais são os princípios da causalidade das ciências que influenciaram na fundamentação dos modelos explicativos evolucionistas, como esses princípios exerceram essa influência e de que forma essa influência repercutiu nos fundamentos de validade e efetividade das explicações evolutivas e, por conseguinte, nos alcances e nos limites das conclusões evolucionistas formuladas com base nesses princípios.

Antes de nos engajarmos em nossa reflexão, faremos um breve interlúdio metodológico, para aportar detalhes sobre o desenho de nosso percurso reflexivo.

B. Desenho do percurso reflexivo

Nossa preocupação filosófica principal, que servirá de fio condutor para nossa reflexão, concentra-se, como viemos de afirmar, no questionamento de como os princípios de causalidade das ciências influenciaram os modelos explicativos evolucionistas e nas consequências epistemológicas dessa influência. Reescrevendo esse nosso objeto de estudo em termos ainda mais específicos, refletiremos sobre como o modelo de causalidade mecânica e a epistemologia verificacionista das ciências modernas e contemporâneas¹⁰, de matriz nas ciências físicas, influenciaram no desenvolvimento epistemológico dos principais conceitos evolucionistas, como esses princípios exerceram essa influência e em que medida essa influência repercutiu nos fundamentos de validade, de efetividade e nos demais valores cognitivos das explicações evolucionistas assim formuladas.

Adotaremos, como linha reflexiva, uma análise lógico-conceitual, de base historiográfica, dos principais conceitos evolucionistas. Nosso foco será, portanto, o desenvolvimento

¹⁰ Veremos, ao longo deste trabalho, que os princípios do modelo de causalidade mecânica e de uma epistemologia verificacionista, cuja matriz se encontra no desenvolvimento da física clássica a partir da Revolução Científica do século XVI, são de grande importância para a fundamentação da validade das ciências empíricas modernas (*grosso modo*, séculos XVI a XVIII) e contemporâneas (*grosso modo*, séculos XIX e XX). Ao longo do século XX, desenvolvimentos científicos (como as teorias quântica, da relatividade, teorias biológicas, entre outras) e filosóficos (como a ideia de refutabilidade, de Karl Popper, que também discutiremos) modificariam os critérios de validação das teorias científicas e incorporariam cada vez mais contribuições de outras ciências, além da física. Para o período histórico por nós selecionado para a análise do desenvolvimento dos conceitos evolucionistas (de meados do século XIX até por volta de 1940), o modelo de causalidade mecânica e a epistemologia verificacionista serão, contudo, nossa principal referência para a reflexão sobre a fundamentação dos conceitos científicos.

epistemológico do modelo explicativo evolucionista durante um determinado período histórico. O período de tempo selecionado para essa análise inicia-se, *grosso modo*, com a apresentação da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural por Charles Darwin, com o lançamento da primeira edição do livro *A origem das espécies por meio de seleção natural ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*, em 1859¹¹. Nosso recorte temporal estende-se até a consolidação dos principais conceitos evolucionistas durante um período denominado pela historiografia da ciência como Síntese Evolutiva Moderna (BOWLER, 2009; GOULD, 2002). A Síntese é um processo de integração dos conceitos darwinianos originais com a genética mendeliana e métodos estatísticos de estudo populacional que se estendeu, sem fronteiras bem delimitadas, por todo o século XX. Sob a forma de Síntese Evolutiva Estendida, é possível entender como um processo que se estende até os dias atuais (FUTUYMA, 2017; ULLER; LALAND, 2019). Os principais pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, aqueles responsáveis pela iniciativa de integração conceitual que levariam Julian Huxley (1942) a dar nome a essa corrente de pensamento¹², publicaram suas obras mais importantes a partir de 1900, até por volta de 1940. Eles continuaram, no entanto, produzindo novos textos sobre o evolucionismo em períodos posteriores. Theodosius Dobzhansky, por exemplo, publicou *Genetics and the Origin of Species*, sua obra-mestra, em 1937, porém continuou intelectualmente ativo até sua morte, em meados da década de 1970. O marco de referência da extremidade distal de nosso recorte temporal não é, portanto, tão precisamente determinado quanto o marco de referência de sua extremidade proximal (1859). Com efeito, a história e a sociologia das ciências nos alertam que, dado o caráter processual do desenvolvimento histórico de teorias e conceitos, os limites temporais desse tipo de fenômeno não são, em muitos casos, precisamente demarcados. O desenvolvimento epistemológico do evolucionismo não é uma exceção a essa generalização. Com essa ressalva em mente, podemos, para fins de simplificação, assumir que nossa reflexão sobre o desenvolvimento lógico-conceitual dos principais conceitos evolucionistas abrangerá, em termos de limites temporais, a evolução desses conceitos de 1859 até 1940. A escolha desse período não foi definida por aspectos meramente factuais. Esse é o período em que ocorreram desenvolvimentos seminais para a

¹¹ Veremos adiante que o naturalista britânico Alfred Russel Wallace, alcançou, em paralelo a Darwin, teorizações semelhantes sobre a dinâmica evolutiva e a ideia de seleção natural. Darwin e Wallace publicaram um artigo conjunto com essas conclusões, em 1858, no *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London*. Para os fins deste trabalho, no entanto, selecionamos o ano de publicação da primeira edição de *A origem das espécies*, 1859, como marco inicial de análise.

¹² Veremos mais adiante que a origem da denominação “Síntese Evolutiva Moderna” se encontra no livro *Evolution: the Modern Synthesis*, de Julian Huxley, publicado em 1942.

consolidação dos pilares conceituais do modelo explicativo evolucionista contemporâneo (GOULD, 2002).

No que concerne à nossa metodologia de análise reflexiva, buscaremos avaliar as mudanças ocorridas ao longo do tempo nos fundamentos de validade e de efetividade empírica dos principais conceitos evolucionistas e as consequentes alterações de seus valores explicativos em decorrência dessas mudanças de fundamentos. Na dimensão da validade, concentraremos nossa atenção na fundamentação lógica e na coerência interna do argumento que sustenta os principais conceitos evolucionistas. Nessa análise, daremos importância mormente aos aspectos epistemológicos (concepções de mundo e concepções de ciência que influenciam nas vias de acesso ao conhecimento) e metodológicos (métodos de categorização e classificação dos entes do mundo material, de construção de representações, de formação de hipóteses, de inferência de generalizações, de raciocínio dedutivo e indutivo, de raciocínio estatístico e probabilístico e de planejamento de estudos empíricos e experimentos) envolvidos na fundamentação do conceito em questão.

Na dimensão da efetividade empírica, buscaremos avaliar as características da relação dos principais conceitos evolucionistas com as evidências oriundas do mundo material, evidências essas que são apreensíveis diretamente pelos sentidos ou apreensíveis indiretamente por meio de instrumentos auxiliares. A noção de "efetividade" que será por nós empregada ao longo do texto aproxima-se, portanto, do conceito de "adequação empírica": uma teoria empírica seleciona e busca explicar um fenômeno específico do mundo, categorizar, estabelecer relações e referências abstratas desse fenômeno com o mundo, criar modelos que explicam esse fenômeno e, por fim, afirmar que seus modelos se ajustam à realidade do mundo (VAN FRAASSEN, 1980).

Em nossas reflexões sobre o desenvolvimento epistemológico do evolucionismo, colocaremos em relevo, portanto, simultaneamente, a análise do encadeamento lógico interno e a adequação empírica dos principais conceitos, bem como as implicações dessa fundamentação para a validação do modelo explicativo evolucionista como um todo. Levaremos em conta também a necessidade de julgamento dessas dimensões em conjunto com a análise de outros valores cognitivos dos conceitos evolucionistas, como a simplicidade, o poder de generalização e o valor preditivo, que também serão objeto de nossas reflexões.

Nosso trabalho seguirá um percurso reflexivo composto, basicamente, de três etapas principais. Na primeira etapa, realizaremos uma sistematização dos conceitos que servirão de

anteparo de comparação para a reflexão sobre o desenvolvimento epistemológico do evolucionismo. Nessa etapa, refletiremos sobre os pressupostos que fundamentam a ideia de causalidade, o modelo de causalidade mecânica e a epistemologia verificacionista que caracterizam as ciências no período histórico que é objeto de nossa análise.

Na segunda etapa, sistematizaremos os principais conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, na forma em que foram enunciados, originalmente, por Charles Darwin, na *Origem das Espécies* (1859), e refletiremos sobre a influência que os pressupostos do modelo de causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista exerceram sobre a formulação original desses conceitos.

Na terceira etapa, sistematizaremos as modificações e as complementações conceituais que foram procedidas no modelo explicativo darwiniano original a partir de 1859 até por volta de 1940 (extremidade distal de nosso marco temporal). Em nossa reflexão sobre o desenvolvimento nesse período, percorreremos, inicialmente, as contribuições feitas pelos naturalistas do século XIX à teoria evolucionista, inclusive pelo próprio Darwin. As cinco edições da *Origem das espécies* posteriores a primeira, assim como outras obras de Darwin do período serão consideradas, portanto, dentro do corpo de desenvolvimento conceitual da teoria após ela ter sido originalmente enunciada. Percorreremos, também, de forma mais detida, as contribuições ao desenvolvimento conceitual do evolucionismo aportadas pelos pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, entre 1900 e 1940. Seleccionamos quatro importantes pensadores da Síntese cujas obras seminais serão fontes bibliográficas primárias que servirão de objeto de nossa reflexão nessa etapa: Ronald Fisher, Sewall Wright, John Haldane e Theodosius Dobzhansky. Nossa reflexão nessa etapa concentrar-se-á em como as modificações procedidas nos conceitos evolucionistas originais por esses quatro pensadores da Síntese e em como os novos conceitos por eles introduzidos foram influenciados pelos pressupostos do modelo de causalidade mecânica e pelas exigências da epistemologia verificacionista que caracterizam a atividade científica durante o período histórico em que eles produziram seus trabalhos.

Nas três etapas supramencionadas de nossa reflexão, manteremos sempre no escopo de nossa análise uma avaliação sobre as consequências da reformulação dos conceitos evolucionistas sobre seus valores cognitivos e sobre os fundamentos de validade e efetividade do modelo explicativo evolucionista como um todo.

Elencamos, no Quadro 1, os cinco pensadores evolucionistas por nós selecionados e suas respectivas obras seminais, que serão as fontes bibliográficas primárias que servirão de objeto de nossa reflexão.

Quadro 1 – Fontes primárias para a reflexão sobre o desenvolvimento lógico-conceitual do evolucionismo: pensadores evolucionistas e respectivas obras selecionadas	
Pensadores evolucionistas	Obras (livros ou artigos) selecionadas como fonte primária
Charles Darwin	➤ Origem das espécies ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida (1859, 1ª edição)
Ronald Fisher	➤ Teoria Genética da Seleção Natural (1930)
Sewall Wright	➤ Evolução em populações mendelianas (1931)
John Burdon Sanderson Haldane	➤ As causas da evolução (1932)
Theodosius Dobzhansky	➤ Genética e a origem das espécies (1937)

Os cinco pensadores em tela foram por nós escolhidos por suas contribuições para o desenvolvimento epistemológico dos principais conceitos evolucionistas. Não precisamos, evidentemente, nos estender na justificativa de que a Charles Darwin consolida¹³ a concepção evolucionista dos fenômenos biológicos (ABRANTES, 2018). Ronald Fisher, Sewall Wright e John Burdon Sanderson Haldane constituem a “santíssima tríade” – intensamente consagrada e repetida na historiografia das ciências biológicas – de pensadores responsáveis pela conciliação inicial das ideias de Mendel e Darwin (GOULD, 2002, p. 504). Theodosius Dobzhansky, por sua vez, consolida a incorporação da teoria sintética produzida por Fisher, Wright e Haldane nas outras disciplinas da biologia (GOULD, 2002, p. 504).

A primeira edição de *A origem das espécies por meio de seleção natural ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*, publicada em 1859, será a fonte bibliográfica primária

¹³ A escolha que fizemos de Darwin não se faz em demérito de naturalistas prévios a ele, a exemplo de Jean-Baptiste Lamarck, cujo papel na fundação do pensamento evolucionista é exaltado em algumas historiografias da biologia (ver, por exemplo, MORANGE, 2016). Recuperaremos as contribuições dos pensadores pré-darwinianos no Capítulo 1.

que servirá de objeto de nossa reflexão sobre as contribuições teóricas de Charles Darwin. Ela será o ponto de partida de nossa análise lógico-conceitual do evolucionismo. Darwin publicou outras cinco edições de sua obra magna enquanto ainda estava em vida: em 1860, 1861, 1866, 1869 e 1872. Em cada uma dessas edições subsequentes, Darwin procedeu inclusões ou alterações do texto original, por diversas razões: em reação às críticas que a teoria recebeu, como na versão de 1860; para reconhecer de forma mais explícita as contribuições de naturalistas que o precederam, como na edição de 1861; em decorrência do acumulado de novas evidências empíricas, como na versão de 1866; ou, ainda, para modificar conceitos, como a inclusão, na edição de 1869, da ideia de "sobrevivência dos mais aptos", conforme enunciada por Herbert Spencer. A versão da primeira edição da *Origem das espécies* que utilizaremos será a tradução efetuada para a língua portuguesa pelo professor Pedro Paulo Pimenta, da Faculdade de Filosofia da Universidade de São Paulo, publicada pela Ubu Editora, em 2018. Sempre que não houver nenhuma especificação, as menções à *Origem das espécies* que faremos ao longo do texto têm esse livro como referência, portanto, têm a primeira edição como referência. Citações ou alusões relativas a outras versões de *A origem das espécies* serão expressamente mencionadas.

Nossas referências para a análise das contribuições de Ronald Fisher, Sewall Wright, John Haldane e Theodosius Dobzhansky serão os textos originais, conforme apresentados em suas primeiras publicações, de suas obras seminais (GOULD, 2002), que são, respectivamente: *The genetical theory of natural selection* (FISHER, 1930), *Evolution in Mendelian populations* (WRIGHT, 1931), *The causes of Evolution* (HALDANE, 1990, versão reimpressa pela Universidade de Princeton da publicação original de 1932), e *Genetics and the Origin of Species* (DOBZHANSKY, 1937). Assim como para Darwin, eventuais versões posteriores às primeiras publicações dessas obras serão enquadradas como contribuições adicionais ao desenvolvimento dos conceitos evolucionistas feitas pelos próprios autores. Se eventualmente discutidas, essas novas edições serão explicitamente mencionadas. Sem menção explícita, estaremos nos referindo sempre às primeiras edições das obras em tela.

Esses cinco pensadores produziram, ademais das obras selecionadas, algumas outras obras sobre o evolucionismo, bem como textos sobre botânica, geologia, estatística, entre outros domínios. Darwin, por exemplo, publicou mais de 20 livros e mais de 200 artigos catalogados¹⁴, sobre temas como a fertilização de orquídeas (*The various contrivances by which orchids are*

¹⁴ A bibliografia completa de Charles Darwin pode ser acessada no seguinte catálogo online: <http://darwin-online.org.uk/>.

fertilised by insects, de 1877), a expressão de emoções (*The expression of emotions in man and animals*, de 1872) ou as plantas insetívoras (*Insectivorous plants*, de 1875). As contribuições desses pensadores na produção de saber técnico específico para esses domínios do conhecimento são reconhecidamente relevantes. No entanto, serão objeto de nosso estudo apenas as obras desses pensadores em que predominam as discussões epistemológicas sobre o evolucionismo. Nesse sentido, as cinco obras selecionadas condensam, assim entendemos, o cerne de suas contribuições conceituais para o modelo explicativo evolucionista. Faremos alusões e citaremos outras obras desses evolucionistas¹⁵. Nossa reflexão mais minuciosa se procederá, porém, sobre as cinco obras elencadas no Quadro 1.

As obras elencadas no Quadro 1 serão consideradas as fontes primárias para traçarmos a trajetória dos desenvolvimentos epistemológicos dos conceitos evolucionistas. Como suporte para nossa interpretação das ideias constantes nessas fontes primárias, poderão ser aludidas, como fontes secundárias, obras de outros pensadores e comentadores dos conceitos evolucionistas. Literatura abundante e de excelente qualidade já foi, e continua sendo produzida em torno dos trabalhos dos pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, da qual desfrutaremos abundantemente¹⁶. Assumiremos como guia para nossa reflexão, todavia, a primazia de nosso próprio entendimento desses conceitos e de seus desenvolvimentos, alcançada a partir da leitura direta das fontes primárias. Desse modo, nenhuma corrente interpretativa será aprioristicamente privilegiada, seja ela defendida por autores contemporâneos ao quinteto de autores selecionados, seja ela proposta por filósofos da biologia atuais. Nossa abordagem reflexiva assumirá os conceitos evolutivos como sendo, portanto, “pré-conceitos”, no sentido primeiro do termo (antes da definição de seu valor cognitivo), sobre os quais nos debruçaremos até que possamos alcançar nossas próprias conclusões sobre seus fundamentos de validade e efetividade.

Analisar a origem e desenvolvimento de conceitos evolucionistas que se tornaram aceitos no *mainstream* científico e que integram a explicação científica hegemônica para esse fenômeno do mundo material é uma tarefa necessária ao trabalho filosófico de reflexão sobre seus valores cognitivos. Bem verdade, consideramos ser esse um dos principais ofícios do

¹⁵ Um corpo mais extenso de outras obras relevantes desses evolucionistas, às quais também recorreremos, está devidamente elencado nas referências bibliográficas.

¹⁶ Ver, por exemplo, ABRANTES, 2009; BRAILLARD; MALATERRE, 2015; GOULD, 2002; MORANGE, 2016; SOBER, 1988; SOBER, 2018.

filósofo que se engaja em refletir sobre as ciências empíricas, uma vez que ele permite a sistematização e a organização rigorosa do conhecimento. Afinal, em larga medida,

A classificação do conhecimento é o objetivo da filosofia. E ela nos ajuda a organizar nosso pensamento científico. Se um filósofo não tiver uma mente brilhante para organizar o conhecimento de maneira sistemática, ele não apenas não consegue entender o universo, como também não pode ser considerado um filósofo¹⁷ (FADAIE, 2008, p. 11).

Essa atitude reflexiva que permite a sistematização dos conceitos científicos não é, decerto, exclusiva dos filósofos da ciência, sendo essa seara por eles compartilhada com os próprios cientistas, os quais estão envolvidos, na origem, na produção desses conceitos. Entendemos, por isso, ser válida, para os grandes cientistas, a afirmação de Paulo Abrantes (2016, p. 21) de que “a prática científica está comprometida com um imaginário filosófico que é explicitado pelos próprios cientistas quando se faz necessário”. Notamos, contudo, que esse imbricamento não é uma obviedade para todos aqueles que estão mergulhados nas atividades cotidianas de pesquisa. Nos parece ser possível afirmar até que, por vezes, esse exercício crítico de reflexão sobre os conceitos, sobretudo os conceitos considerados consolidados, é apenas parcialmente executado ou até desvalorizado por muitos cientistas da disciplina, por razões diversas (podemos imaginar, por exemplo, por priorização do uso do tempo para resolver outros problemas, mais relacionados às investigações empíricas, por desconhecimento da importância dessa atividade reflexiva, por repulsa intencional a atividades que exigem lidar com abstrações sobre questões aparentemente distantes da prática de campo ou laboratorial, entre outros possíveis motivos). Nos caberia nesse momento alertar, no entanto, que a dúvida sobre as respostas previamente concebidas para os problemas é um marcante elemento diferenciador do conhecimento científico de sistemas de conhecimento dogmático, como o religioso. Essa conexão entre a produção de conceitos e a sistematização e reflexão crítica constante sobre o valor cognitivo deles não pode, portanto, jamais escapar aos olhos dos filósofos da ciência. Assumimos, por isso, como nosso papel neste trabalho, a análise do arcabouço conceitual de ciências empíricas como as ciências biológicas, o que nos levará a refletir sobre questões relacionadas ao método científico por elas aplicado, como elas empregam princípios matemáticos, pressupostos oriundos de outras ciências empíricas e, também, conceitos fundamentados por disciplinas não empíricas e historiográficas, entre outras reflexões epistemológicas.

¹⁷ Traduzido de FADAIE, 2008, p. 11: “*The classification of knowledge is the aim of philosophy. And it helps us to organize our scientific thought. If a philosopher does not have a bright mind to organize the knowledge in a systematic way he not only cannot understand the universe but he cannot be considered as a philosopher*”.

As dificuldades nesse tipo de tarefa não estão, todavia, somente do lado dos cientistas. Do lado dos filósofos da ciência, há desafios que envolvem o conhecimento preciso de conceitos empíricos que, ele próprio, não induziu e de metodologias observacionais e experimentais que, ele próprio, não emprega diretamente em pesquisas de campo ou laboratórios, mas que, em ambos os casos – tanto de conceitos quanto de metodologias –, ele se propõe a dissecar analiticamente. O êxito nessa tarefa reflexiva somente pode ser alcançado por meio de um rigor no método analítico que buscaremos manter ao longo de todo este trabalho. Afinal, concordamos com o entendimento de Ludwig Wittgenstein, que apresentamos na citação da epígrafe deste trabalho, de que a filosofia não é uma mera doutrina, voltada ao objetivo de produzir teoria, mas uma atividade intelectual cuja tarefa não seria, portanto, ensinar o que é verdadeiro, mas sim ensinar como podemos buscar a verdade por meio de pensamento rigoroso (WITTGENSTEIN, 2023, proposição 4.112).

Diante da descrição que precede de nossa linha reflexiva, constata-se que este trabalho visa a aportar contribuições reflexivas tanto para filósofos quanto para cientistas que buscam explicações para os fenômenos do mundo biológico. O *plus value* desta obra para cientistas e filósofos, se formos exitosos em nosso objetivo, poderá ser encontrado em pequenas contribuições para a organização dos conceitos existentes na rede de sustentação do evolucionismo, para o entendimento sobre seus valores cognitivos, para a consciência crítica sobre as limitações e os alcances de suas conclusões, bem como para o entendimento do papel do formalismo da matemática, das noções de probabilidade, das induções empíricas, das hipóteses dedutivas, dos modelos sistematizantes e das analogias na fundamentação, por diferentes caminhos intelectuais, da tese evolucionista. Confessamos nosso otimismo em pensar que nossos esforços para redigir este trabalho estarão justificados se a análise epistemológica do evolucionismo a que nos propomos, para o que a reflexão sobre o desenvolvimento histórico de seus principais conceitos é fundamental, poderá nos auxiliar a revisarmos nossas preconcepções e concepções teóricas, com a atitude construtiva de um ceticismo metodológico genuinamente cartesiano, e melhor nos habilitar, em seguida, a explorar futuramente novos caminhos de investigação intelectual e empírica dos fenômenos biológicos, se os desafios conceituais diante de nós assim nos exigirem.

Para realizar reflexões fundadas em uma historiografia epistemológica – no nosso caso, uma análise lógico-conceitual da evolução dos conceitos evolucionistas ao longo do tempo –, nós precisaremos adotar, por razões que mencionamos previamente, uma postura de certa flexibilidade na estipulação dos marcos temporais. Ademais desse aspecto, merece nota de

cautela também o fato de que, seja pela existência de divergência na apresentação das informações factuais nas obras dos historiadores aos quais nos reportamos, seja por limitações na amplitude de nossa pesquisa, poderão ser encontradas neste trabalho, eventualmente, imprecisões na descrição de fatos históricos específicos ou na menção a datas. Zelaremos, ao máximo, para evitar que eventuais imprecisões desse tipo ocorram e para que, se porventura divergências factuais passem despercebidas aos nossos olhos mesmo após nossas múltiplas revisões, que elas não venham a comprometer o tipo de precisão que está no centro de nossa análise, aquela do desenvolvimento lógico-conceitual do modelo evolucionista.

Nessa reflexão sobre o desenvolvimento epistemológico do evolucionismo, haverá idas e vindas na linha temporal que remonta a trajetória dos conceitos. Os diferentes conceitos evolucionistas modificaram-se ao longo do tempo em velocidades e de formas diferentes. Agrupá-los todos em uma mesma linha histórica de desenvolvimento epistemológico, pelo benefício de um relato linear, significaria sacrificar a especificidade de cada uma dessas histórias evolutivas. O método reflexivo que adotamos neste trabalho não abordará a teoria evolutiva como um monolito conceitual homogêneo, a ter sua validade avaliada em conjunto (como um “pacote”); analisaremos, de forma individualizada, a linha de modificação dos fundamentos de validade de cada um dos principais conceitos. Por isso, para assegurar a coerência lógica interna de nossa análise, precisaremos, eventualmente, recortar a linha temporal dos desenvolvimentos conceituais em pedaços menores e, em seguida, reagrupá-los de acordo com as necessidades do argumento defendido. Esse exercício de avanços e recuos na linha temporal poderá exigir do leitor um esforço superior àquele exigido pela leitura de uma história linearmente contada. Nos sentimos, por isso, obrigados a demandar a indulgência do leitor para dispensar esse esforço adicional, pelo benefício da metodologia de reflexão que adotamos.

Merece nota de ressalva adicional nossas pretensões quanto ao conjunto dos conceitos analisados neste trabalho. Abriremos mão de sermos exaustivos no escopo de cobertura de nossa análise, em prol da consistência nos aspectos que escolhemos como prioritários. Não buscaremos, portanto, entregar à apreciação do leitor um buquê com todos os conceitos evolucionistas, discutidos em seus mais diversos matizes, de sua origem até os tempos atuais. Almejamos, com ambições mais modestas, compartilhar apenas um condensado bloco de reflexão, que esperamos seja sólido, sobre o desenvolvimento epistemológico daqueles que entendemos serem os principais conceitos evolucionistas, durante um período de tempo delimitado, aquele que entendemos ser a *clé de voûte* para o entendimento de um problema

filosófico que é, como Kant nos alertou, um enigma de dificuldade epistemológica quase insuperável: o fenômeno da evolução das espécies (CAPONI, 2012, p. 66).

Tendo como referências a grade metodológica e o percurso reflexivo que viemos de detalhar, organizamos este trabalho nas partes seguem. No Capítulo 1, reconstruiremos a estrutura conceitual dos modelos de causalidade das ciências, com enfoque nas contribuições da casualidade mecânica e da epistemologia verificacionista das ciências físicas para o modelo de causalidade das ciências empíricas modernas e contemporâneas. Os pressupostos do modelo de causalidade das ciências modernas e contemporâneas servirão como nosso anteparo de referência para toda a reflexão filosófica sobre os conceitos evolucionistas que será procedida nos capítulos subsequentes.

No Capítulo 2, recuperaremos, de forma sintética, os principais conceitos constitutivos do modelo explicativo evolucionista aportado pela Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, conforme sua formulação original proposta por Charles Darwin, em *A origem das espécies*. Nossa reflexão concentrar-se-á, em larga medida, em seis princípios fundacionais do evolucionismo darwiniano: ancestralidade comum, evolução ao longo do tempo, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação. Uma vez sumarizados os pilares conceituais do evolucionismo darwiniano, iniciaremos, na segunda metade do Capítulo 2, nossa reflexão filosófica em torno da influência exercida sobre Darwin pelos pressupostos do modelo de causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista e das consequências dessa influência nos fundamentos de validade e efetividade das explicações por ele formuladas.

No Capítulo 3, em percurso analítico análogo àquele do Capítulo 2, recuperaremos, de forma sintética, a história do desenvolvimento epistemológico dos principais conceitos evolucionistas, conforme a reformulação a que foram submetidos pela Síntese Evolutiva Moderna. Novos conceitos importantes, além dos seis princípios fundacionais, emergirão, aos quais também dedicaremos nossa atenção. Procederemos, em seguida, também de forma simétrica à análise realizada no Capítulo 2, nossa reflexão sobre as influências exercidas pelos pressupostos do modelo de causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista nas reformulações conceituais da Síntese Evolutiva Moderna e sobre as novas consequências dessas influências nos fundamentos de validade e efetividade das explicações evolucionistas. Iniciaremos, ainda no Capítulo 3, com uma reflexão sobre a importância da matematização na fundamentação dos princípios evolucionistas, em consequência da abordagem estatística privilegiada por Fisher, Wright e Haldane.

No Capítulo 4, continuaremos nossa reflexão sobre as contribuições epistemológicas e metodológicas da Síntese Evolutiva Moderna para o desenvolvimento conceitual do modelo explicativo evolucionista. Nesse momento de nossa análise, colocaremos em relevo as consequências da fusão entre a tese evolucionista de Darwin, a genética de Mendel e a estatística de populações para a reformulação das bases racionalistas, mecanicistas e experimentais dos conceitos evolucionistas. Analisaremos, entre outros aspectos, a importância de modelos representacionais, de verificações empíricas e de uma *rationale* naturalístico-nomológica e mecanicista para a fundamentação da tese evolutiva.

Na Conclusão, faremos uma síntese de nossa reflexão sobre o desenvolvimento lógico-conceitual do evolucionismo, procedida tendo como anteparo de referência os pressupostos da causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista que caracterizam as ciências no período que vai de 1859 até 1940. Buscaremos extrair algumas conclusões sobre os fundamentos de validade e efetividade dos principais conceitos evolucionistas e sobre alcances e limites das explicações evolutivas, conforme apresentadas após a reformulação e consolidação conceitual procedidas pela Síntese Evolutiva Moderna. Conforme mencionamos, entendemos que revisitar a história epistemológica dos modelos explicativos evolucionistas pode nos ajudar a melhor entender o valor explicativo atual desses conceitos e, eventualmente, nos auxiliar a sobrepor eventuais lacunas e dificuldades teóricas ainda em aberto. Em nossa conclusão, guardaremos em mente, por isso, os potenciais aproveitamentos de reflexões desse tipo para estudos futuros sobre os fenômenos evolutivos no mundo biológico.

CAPÍTULO 1: MODELOS DE CAUSALIDADE DAS CIÊNCIAS

Este capítulo é uma breve síntese¹⁸ do desenvolvimento histórico do problema da causalidade, da antiguidade até os tempos atuais, recuperando princípios, conceitos e teorias que foram criados para resolvê-lo.

Conforme antecipamos no capítulo introdutório deste trabalho, a noção de causalidade é um dos princípios fundamentais da racionalidade científica. O estabelecimento de uma relação de causalidade nas ciências exige que a explicação proposta responda a três questionamentos (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009; LOSEE, 2011):

- Primeiro questionamento: o que tipifica uma entidade como “causa” ou “efeito”?;
- Segundo questionamento: qual é a relação existente entre o ente-causa e o ente-efeito?; e
- Terceiro questionamento: quais critérios são utilizados para confirmar a validade e a efetividade da relação estabelecida entre o ente-causa e o ente-efeito?

O primeiro questionamento possui natureza ontológica. É possível assumir, como premissa, que todos os entes existentes no mundo material façam parte de relações causais, o que nos permite, logo, tipificá-los como sendo causa ou efeito. A generalização que fizemos com essa afirmação, quando nos referirmos a “todos” os entes existentes no mundo material, é corolário da premissa de que tudo que existe no mundo material possui uma causa. Na racionalidade científica, não existe, ontologicamente, efeito sem causa, logo, todo ente pode ser tipificado como sendo efeito de pelo menos um ente-causa e como sendo causa de um ou muitos entes-efeito.

A tipificação a ser feita dos entes causa ou efeito dependerá, bem verdade, da relação causal que se quer estabelecer em seguida. Isso vincula, necessariamente, a resposta ao primeiro questionamento àquela a ser dada ao segundo, relativa à relação existente entre os entes causa e efeito. Ora, se a categorização do ente-causa e do ente-efeito é procedida conforme a relação

¹⁸ Dado nosso objetivo de lançar as luzes, especificamente, sobre os pressupostos de causalidade que serão trabalhados nas partes futuras deste trabalho, a apresentação do problema da causalidade neste capítulo não se pretende exaustiva. Para historiografias e discussões mais completas sobre a causalidade, ver, por exemplo, BEEBEE, Helen; HITCHCOCK, Christopher; MENZIES, Peter Charles, et al. (ed.). *The Oxford handbook of causation*. Oxford Handbooks, 2009; PEARL, Judea. *Causality*. Cambridge University Press, 2009; ou MUMFORD, Stephen; ANJUM, Rani Lill. *Causation: a very short introduction*. OUP Oxford, 2013.

que se busca estabelecer entre eles, isso implica que essa categorização será estabelecida com uso de critérios definidos por conveniência (CARNAP, 2012). Nada a estranhar nessa dedução, uma vez que toda categorização é, *per si*, uma escolha, pois cabe a quem a procede definir os critérios que individualizam e distinguem um ente em especial de todos os demais entes existentes no mundo material (FADAIE, 2008). Assumir os entes existentes no mundo material como sendo, por exemplo, corpos, eventos ou sistemas e, se possível, individualizá-los em entes-causa ou entes-efeito é, logo, o ponto de partida da resposta ao primeiro questionamento.

O segundo questionamento estruturante da causalidade possui natureza epistemológica, por referir-se a como tornamos inteligível uma relação entre os entes que foram categorizados como causa e efeito (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009; LOSEE, 2011). Estabelecer se ente-causa e ente-efeito estão relacionados do ponto de vista lógico-dedutivo, do ponto de vista empírico (associações induzidas a partir do contato dos sentidos, direto ou por meio de instrumentos, com o mundo material) ou por uma composição, de proporções variáveis, de ambas as perspectivas é o problema endereçado por esse segundo questionamento. Uma resposta ao segundo questionamento é alcançada, portanto, por meio de uma proposta de explicação racional que associe a existência da causa à ocorrência do efeito.

O terceiro questionamento diz respeito aos procedimentos metodológicos utilizados para extrair conclusões críveis sobre dois aspectos da relação de causalidade até então formulada: a validade interna do argumento que explica a associação racional estabelecida entre o ente-causa e o ente-efeito; e a adesão dessa explicação à realidade empírica (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009; LOSEE, 2011). Em outros termos, a resposta ao terceiro questionamento é alcançada com a definição de critérios metodológicos que permitam o julgamento da validade e da efetividade¹⁹ da relação causal estabelecida.

Assim como no caso da tipificação dos entes em causa e efeito (resposta ao primeiro questionamento), também os critérios metodológicos definidores de validade e efetividade da

¹⁹ A filosofia da ciência, em sua reflexão orientada à busca do conhecimento verdadeiro por meio das ciências, não pode prescindir de referenciar o conhecimento ao mundo material, a uma realidade objetiva que supomos existir independentemente do sujeito. Em outros termos, na filosofia da ciência, o fundamento de verdade das conclusões não pode ser encontrado apenas em nós mesmos (diferentemente do que se poderia dizer da metafísica ou de algumas outras áreas da filosofia), sendo patente um componente de exterioridade que obriga a adequação dessas conclusões ao mundo material. Optamos, por isso, pelo termo “efetividade” para fazer referência à adequação de uma teoria científica à experiência da realidade empírica. Quanto mais efetiva uma teoria científica, mais a explicação por ela fornecida aproxima-se de nossa experiência da realidade empírica, em linha com o que Popper (2013) denomina verossimilhança (“verisimilitude” ou “truthlikeness”, em língua inglesa). A efetividade de uma teoria científica é, portanto, em larga medida, um parâmetro confiável para a avaliação de seu fundamento de verdade.

relação causal (resposta ao terceiro questionamento) são frutos de escolhas por conveniência. Ademais, cientistas e pensadores desfrutam de liberdade de pensamento para estabelecer, em resposta ao segundo questionamento, a relação entre a causa e o efeito que eles entendem como sendo racionalmente coerente. Ao constatarmos a existência de conveniência e de liberdade para escolhas no processo de formulação de explicações causais pela ciência, como nesse contexto de resposta aos três questionamentos da causalidade, não implica afirmarmos que teorias científicas assim estabelecidas são arbitrariamente formuladas ou que carecem de rigor metodológico (CARNAP, 2012; HEMPEL, 1970). O grau de liberdade dessas escolhas não é irrestrito, tampouco são elas individual e arbitrariamente definidas pelos cientistas. Bem verdade, o rigor lógico e metodológico que encontramos no estabelecimento da causalidade pelas ciências reside justamente nos métodos desenvolvidos ao longo do tempo pelos cientistas para definir as balizas dessas escolhas. O grau de liberdade dessas escolhas é limitado pelo desenvolvimento histórico da própria ciência, que consolida, ao longo do tempo, categorizações, padrões de racionalização e métodos de construção das explicações causais, em confronto contínuo deles com a realidade material, e sob o olhar crítico de incontáveis pensadores e pesquisadores. No mundo científico, portanto, a historicidade das escolhas coletivas baliza, rigorosamente, a conveniência das escolhas individuais.

Alguns desses conjuntos de escolhas e padrões de racionalização utilizados pelas teorias científicas constituíram, ao longo do tempo, modelos rigorosos de estabelecimento da causalidade nas ciências (YAKIRA, 1994). Os modelos de causalidade científica configuram-se, portanto, em verdadeiras metateorias (*framework theories*), que, por um lado, são formadas a partir dos padrões de explicações causais das ciências e que, por outro lado, enquadram as próprias teorias científicas. Quando um indivíduo forja uma teoria que estabelece uma relação causal em um determinado domínio do saber científico, ao mesmo tempo em que ele amplia o corpo de conhecimento específico do campo em que trabalha, dialogando com seus pares do futuro, ele influencia e é influenciado pelos modelos de causalidade científica, dialogando com seus pares do passado.

Discutiremos, a seguir, o desenvolvimento histórico dos principais modelos de causalidade das ciências, da Antiguidade até o início século XX. Dada a importância das contribuições das ciências físicas para o desenvolvimento da racionalidade científica no período histórico em questão, concentraremos nossa atenção nos modelos de causalidade que foram por elas consolidados. Merece ressalva o fato de que a ênfase será por nós dada às contribuições das teorias das ciências físicas à estrutura conceitual dos modelos de causalidade (contribuições

metateóricas), não ao que essas teorias agregaram ao corpo de conhecimentos específico sobre os fenômenos de um determinado campo do saber. Com essa ressalva em mente, justificamos, de antemão, eventuais ausências, em nossa breve retrospectiva, de menção a alguns grandes cientistas naqueles casos em que, embora suas teorias tenham incorporado relevante conhecimento novo ao seu domínio de trabalho, elas não tenham aportado inovações significativas aos modelos de causalidade científica.

1.1 O modelo de causalidade aristotélico

As reflexões filosóficas sobre a causalidade remontam, pelo menos, às contribuições de Aristóteles (384 a.C - 322 a.C) (LOSEE, 2011; PEARL, 2009). Para Aristóteles, o problema a ser resolvido por meio de uma explicação causal, ou seja, o objeto da investigação causal, é definido como sendo um “processo²⁰”: uma transição de um ente material de um estado potencial para um estado atual. No que tange à tipificação dos entes causa e efeito – resposta ao primeiro questionamento estruturante da causalidade –, poderíamos dizer, em termos contemporâneos, que o filósofo grego assumia como efeito o estado atual atingido, ao final do processo em investigação, pelo ente que sofre a transição.

O sistema causal aristotélico apresenta, ainda, quatro componentes, denominados modos causais: o componente formal, o componente eficiente, o componente material e o componente final. Podemos entender, de forma bastante simplificada para os fins de nossa análise²¹, que o componente formal faz referência à essência²² do ente que sofrerá a transição, reunindo o conjunto de propriedades que o definem, em termos ontológicos. O componente eficiente faz referência à interação entre o agente desencadeador da transição com o ente material que passará pela transição, bem como a própria transição do estado potencial para o estado atual

²⁰ Assim como Losee (2011, p. 11), nós empregamos o termo “processo”, neste argumento, como uma aproximação das noções aristotélicas com os conceitos contemporâneos. Vale ressaltar que, no entanto, o Estagirita faz referência à transição acima descrita sem defini-la, explicitamente, como sendo um “processo”.

²¹ Uma discussão aprofundada sobre o sistema causal aristotélico não se fará necessária para o entendimento do argumento que será apresentado nesta seção e, por isso, ultrapassa os objetivos deste trabalho. Para maior aprofundamento sobre a densa obra de Aristóteles, ver especialistas nesse pensador, como, por exemplo, ROSS, William David et al. *The works of Aristotle*. Clarendon Press, 1910 ou LEAR, Jonathan. *Aristotle: the desire to understand*. Cambridge University Press, 1988.

²² A ideia aqui aportada pela palavra “essência” figura em Aristóteles na expressão grega *tò tí ên einai*. Essa expressão pode ser traduzida de formas diferentes, como “o que era para ser” (DE FARIA, 1992) ou “o aquilo que é ser” (LEAR, 1988). Na ausência de uma palavra ou locução que traduza, precisamente, em língua portuguesa, a expressão grega original, a tradução da ideia contida na expressão *tò tí ên einai* tem sido motivo de controvérsias entre os estudiosos de Aristóteles. Guardaremos neste trabalho o uso do vocábulo “essência”, consagrado pela tradição.

desse ente material. O componente material, por sua vez, faz referência, por sua vez, à matéria constituinte do agente desencadeador e do ente que vai passar pela transição de estados. O componente final, também denominado *telos*, faz referência ao resultado final presumido a ser alcançado ao cabo do processo. No esquema aristotélico, portanto, a causa, ao reunir esses quatro modos básicos, é, conjuntamente com a essência, o que define o ente no sentido formal e o que constitui sua própria existência no mundo material (LOSEE, 2011).

Com a noção de “processo” e a estruturação da causa em quatro modos constitutivos, as explicações dos fenômenos do mundo material elaboradas com base no modelo aristotélico mostraram-se capazes de propor uma relação coerente, do ponto de vista lógico, entre os entes causa e efeito. Para a explicação do processo de construção de uma casa, por exemplo, Aristóteles apresenta, como causa formal, o plano arquitetônico da casa; como causa material, os materiais de construção (tijolos, azulejos, cimento, argamassa, etc.); como causa eficiente, a ação de pedreiros, carpinteiros, marceneiros e outros profissionais e artesãos; e, como quarta e última causa, a causa final, o objetivo de fornecer um abrigo às pessoas. O efeito desse processo é a casa construída a partir desses elementos (LOSEE, 2011, p. 3).

A assunção da existência inexorável de uma causa final configurou-se, ao longo do tempo, como uma das razões da incompatibilidade da aplicação do modelo causal aristotélico a todos os tipos de fenômenos do mundo material (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009). Se o estado atual a ser alcançado pelo ente material, ao final do processo (efeito), serve de propósito para guiar a causa, esse propósito somente poderá ser conhecido após a ocorrência empírica, pelo menos uma vez, do efeito. Se esse propósito assim conhecido é um dos componentes da causa (o quarto modo, a causa final), isso implica que o efeito futuro determina a ação da causa presente que o produzirá. Ora, esse tipo de dependência do sistema causal aristotélico de uma causa final pode ser algo problemático na explicação de alguns fenômenos ao torná-lo, senão tautológico, em termos lógicos, ao menos determinístico, em termos empíricos. Postular que algo ocorre em um sentido definido pode significar, para fenômenos recorrentes, prever o efeito futuro (deduzido a partir de observações empíricas de processos similares prévios), mas também pode significar, para fenômenos não recorrentes, especular a determinação do efeito futuro por uma causa presente. No entanto, importa salientar que, ainda que com deficiências, o modelo de causalidade aristotélico, com seus quatro modos causais, foi, durante séculos, a mais efetiva metateoria (*framework theory*) para o estabelecimento de relações causais que buscavam explicar as mudanças (“movimentos” ou “processos”) que ocorrem no mundo material (LOSEE, 2011). Por conseguinte, as contribuições à noção de causalidade que

emergirão da Antiguidade até o final da Idade Média – que discutiremos na próxima subseção – podem ser entendidas, em larga medida, como esforços de aprimoramento desse modelo aristotélico. Veremos que essas contribuições serão, sobretudo, de ordem metodológica, voltadas a cobrir deficiências do modelo aristotélico por meio do refinamento dos métodos de indução de relações causais.

1.1.a Refinamento dos métodos de indução

Conforme mencionamos anteriormente, uma relação entre os entes causa e efeito (resposta ao segundo questionamento) pode ser estabelecida por diferentes caminhos inferenciais, seja por meio de uma racionalização lógico-dedutiva ou por meio de uma indução empírica. No modelo de causalidade aristotélico, as relações causais eram comumente estabelecidas pela segunda via, ou seja, por indução a partir de observações empíricas, porque a ciência tinha, para Aristóteles, os sentidos como fonte de acesso ao conhecimento (ABRANTES, 2016, p. 61).

Aristóteles enunciou dois procedimentos indutivos: indução por enumeração simples e indução intuitiva (LOSEE, 2011; MUMFORD; ANJUM, 2013). Indução por enumeração simples possibilita a mais pura e simples generalização. Por meio da observação de alguns exemplares de um processo em que os entes categorizados como causa e efeito se relacionam, avança-se, em seguida, para uma generalização que associa esses entes-típicos em todas as demais situações similares em que eles estão presentes. Quando avaliamos a efetividade das relações causais estabelecidas por generalizações por enumeração simples, constatamos que suas conclusões podem ser facilmente refutadas. Para fazê-lo, basta-nos a simples identificação de exceções, uma situação empírica pontual em que a associação aventada entre a causa e o efeito não se confirme. Assim, a mera descoberta de um cisne negro invalida a afirmação generalizante de que todos os cisnes existentes são brancos.

Indução intuitiva, conforme proposto por Aristóteles, é, por sua vez, simplesmente intuição. Com efeito, não se trata de procedimento metodológico de reflexão, mas de pensamento criativo, que propõe associações entre entes tipificados como causa e efeito a partir de nenhuma, uma única ou poucas observações. Inferências desse tipo constituem, em geral, generalizações precipitadas (“hasty generalizations”). Uma fonte comum de inspiração para as associações intuitivas são os indícios importados, por analogia, de relações causais consideradas válidas na vida cotidiana ou, eventualmente, em outros campos do saber, sejam

eles científicos ou não científicos. A partir da observação de que polos opostos de um ímã se atraem e de que polos idênticos se repelem, induz-se, por exemplo, por analogia, que indivíduos com personalidades diferentes se relacionam mais harmonicamente que aqueles com personalidades similares. Os “insights” de relações causais alcançados por indução intuitiva podem até vir a ser, ocasionalmente, confirmados por explicações teóricas mais elaboradas, desenvolvidas posteriormente; sozinhos, contudo, eles são insuficientes para justificar a validade e a efetividade da associação causal proposta.

Aristóteles buscava generalizações a partir de observações empíricas para todas as classes de fenômenos. Os fenômenos biológicos não são exceção à sua atitude empirista e a seu apetite pela investigação causal, tendo o Estagirita sobre eles comumente se debruçado (GOTTHELF; LENNOX, 1987). Dada as deficiências supracitadas dos métodos de indução que ele empregava, suas generalizações não lograram, contudo, toda a consistência que ele decerto desejava. No entanto, mesmo distante dos métodos empiristas modernos, ele obteve resultados interessantes. A partir da observação, por exemplo, de que muitos ruminantes com estômagos de quatro câmaras não possuíam dentes incisivos superiores, ele induziu a generalização de que todos os ruminantes eram desprovidos desses dentes (LOSEE, 2001, p.9). Aristóteles considerava definitivos os resultados empíricos que encontrava e necessárias as relações causais a partir deles induzidas, sendo essa necessidade um aspecto característico de sua metafísica (LEAR, 1988).

Tão logo conscientes de que os procedimentos indutivos enunciados por Aristóteles eram débeis em suas possibilidades de estabelecimento de uma relação causal consistente, alguns pensadores medievais propuseram métodos de indução mais sofisticados. Robert Grosseteste (1175-1253), John Duns Scotus (1265/66–1308) e William de Ockham (1287–1347) contribuíram, sucessivamente, para o desenvolvimento do método indutivo de concordância e diferença (LOSEE, 2011). Esse método prevê a observação seriada de situações em que a presença ou a ausência dos entes a que se aventa o papel de causa é controlada, o que torna possível identificar qual dentre as causas presumidas é aquela que está associada à ocorrência do efeito previsto.

Tomemos o seguinte exemplo, inspirado de Losee (2011, p. 8-9):

Quadro 2: Exemplo de aplicação do método indutivo de concordância e diferença		
Circunstâncias possíveis	Ocorrência das possíveis causas	Ocorrência do efeito previsto
1	X A B	Z
2	X A C	Z
3	X B C	Z
4	- A B	-
5	- A C	-
6	- B C	-

Adaptado de LOSEE, 2011, p. 8-9.

Nas situações hipotéticas descritas no Quadro 2, sendo X, A, B e C as possíveis causas do efeito Z, deparamo-nos com circunstâncias em que a presença ou ausência das causas é seriadamente controlada. A aplicação do método indutivo de concordância e diferença nos permite concluir que X, presente nas circunstâncias em que o efeito está presente (1, 2 e 3) e ausente nas circunstâncias em que o efeito está ausente (4, 5 e 6), é a causa a ser associada ao efeito Z. Homens de seu tempo que eram, esses pensadores medievais não consideravam, no entanto, como sendo necessárias as relações causais que induziam a partir de suas observações. Para Grosseteste, Scotus e Ockham, Deus poderia, a qualquer momento, decidir mudar as associações empiricamente induzidas.

No século XVII, o filósofo britânico Francis Bacon (1561–1626), aguerrido defensor do empirismo durante o período do Renascimento Científico e Cultural na Europa Ocidental, colocou em xeque dois aspectos do modelo aristotélico de causalidade: os procedimentos indutivos e a causa final (LOSEE, 2011, p. 11).

No que concerne aos procedimentos indutivos, as conclusões extraídas pela indução por enumeração simples, facilmente falseáveis, assim como as generalizações precipitadas (“hasty generalizations”) decorrentes da indução intuitiva foram profundamente atacadas pelo filósofo britânico. Em alternativa aos procedimentos indutivos sugeridos por Aristóteles, Bacon também viria a enunciar – sem reconhecer devidamente as contribuições dos pensadores medievais que mencionamos – o método de concordância e diferença. Não se tratava, no entanto, aparentemente, de uma mera rerepresentação desse método. É possível identificar em Bacon uma contribuição original para o desenvolvimento dessa ferramenta indutiva, na medida

em que ele trouxe a noção de gradação da causa em relação ao efeito. Durante o tabulamento comparativo das causas possíveis com o efeito previsto, nos moldes do que apresentamos no Quadro 2, além das considerações sobre a presença e a ausência da suposta causa, Bacon enuncia que a análise de aceitação da causa deva favorecer aquelas causas que aumentam em intensidade quando o efeito aumenta, ou que diminuem em intensidade quando o efeito diminui. (LOSEE, 2011, p. 11-12). Podemos considerar que a utilização por Bacon da noção de gradação pode ser considerada como sendo uma contribuição adicional para o rigor metodológico na inferência de relações causais, e, conseqüentemente, também para a validação empírica de relações causais assim estabelecidas.

No que concerne à causa final, Bacon capitaneou uma crítica contundente à aplicação da causa final aristotélica na explicação científica dos fenômenos físicos (RUSE, 1970). Entre as várias outras noções estruturantes que ele aportou ao fazer científico moderno que emergia naquele momento de Renascimento em que viveu, o pensador britânico defendeu, assim como René Descartes (1596–1650), a ideia de que o verdadeiro cientista deveria adotar, na sua investigação, uma atitude totalmente livre de conceitos apriorísticos. A assumpção aristotélica da existência de um propósito (*telos*) a guiar os processos do mundo material representava, portanto, um pré-conceito limitante das conclusões científicas, a ser, por isso, abandonado sem hesitação.

Prosseguindo nossa marcha no fio da história, observaremos que, no século XVII, em um contexto de questionamento ainda mais amplo do pensamento filosófico medieval, os trabalhos de Galileu Galilei revolucionarão a matriz aristotélica de estabelecimento de relações causais. Nasciam, com Galileu, a física clássica e um modelo da causalidade, que, meio século depois, seriam alçados por Isaac Newton ao patamar de elementos fundadores da ciência moderna (BEEBEE; HITCHCOCK; MENZIES, 2009; YAKIRA, 1994), desenvolvimento histórico sobre o qual nos debruçaremos na próxima seção.

1.2 O modelo da causalidade mecânica

Em seus escritos, Galileu Galilei (1564-1642) recorreu a dois recursos intelectuais que, ao tempo em que asseguraram o êxito de suas explicações na cinemática, modificaram a estrutura do pensamento causal de base aristotélica até então dominante: a matematização, especialmente uma algebrização, fundada em uma relação funcional de variáveis

quantificáveis; e a mecanização, fundada no estudo estrito da interação dos corpos (KOYRÉ, 1966).

Nas teorizações de Galileu sobre o movimento dos corpos, ele efetua uma descrição matemática dos processos, por meio de relações entre tempo, distância, velocidade, aceleração e outras grandezas observáveis e mensuráveis. Essas descrições matemáticas dos fenômenos representavam a nova linguagem por meio da qual a natureza falaria, uma natureza geométrica, como o próprio Galileu afirmou, em *O Ensaíador* (1983, p. 28):

A filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos (isto é, o universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles nós vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto (GALILEI, 1983, p. 28).

A linguagem matemática com que Galileu descreveu os fenômenos físicos é francamente contrastante com a física qualitativa aristotélica. As equações galileanas eram razoavelmente precisas e, embora sozinhas não respondessem a todas as exigências de um questionamento causal, elas eram dotadas de poder de predição de efeitos futuros, por meio de deduções acuradas de movimentos, que auxiliavam no valor cognitivo de suas explicações quando confrontadas às evidências do mundo empírico²³. Ao tornar mais objetivas, precisas e com valor preditivo as relações de causalidade estabelecidas, a matematização configura-se, a partir de Galileu, como o instrumento formal preferencial na física clássica para a descrição de certa classe de movimento dos corpos (AGUTTER; WHEATLEY, 2008).

A descrição matemática, por meio de grandezas observáveis e mensuráveis, das regularidades da relação entre causa e efeito existentes nos movimentos dos corpos não explica, contudo, completamente, por que a causa produz seu efeito. Se confrontarmos esse modelo com o modelo aristotélico, não seria errôneo aventar que a matematização da relação causal significaria uma focalização nas causas formais, em detrimento da causa eficiente. Sem a causa eficiente e sem a reflexão sobre a “causa interna” de produção do efeito – causas “escondidas”,

²³ Galileu não alcançou a causa mecânica da gravitação, no sentido de uma razão envolvendo interações mecânicas que explicasse a aceleração dos corpos um em direção ao outro (YAKIRA, 1994). Suas equações, no entanto, previam, com razoável precisão, a relação entre tempo e velocidade de alguns corpos acelerados pela gravitação e auxiliaram-no na identificação de novos corpos celestes, como as luas de Júpiter, com auxílio apenas de lunetas.

não observáveis e não mensuráveis, por isso não exprimíveis matematicamente –, restaria incompleta a resposta ao “porquê” de o mundo funcionar da forma que funciona²⁴.

Nessa busca por respostas sobre como a causa produz o efeito, a ciência de Galileu e, podemos também dizer, sua filosofia natural, assume como pressuposto que os efeitos são produzidos por uma interação mecânica de suas causas (KOYRÉ, 1966). A inspiração de Galileu para a mecanização das causas pode ser encontrada na filosofia clássica de Demócrito, bem como nas engrenagens e mecanismos criados por engenheiros e artífices da Itália renascentista, como Leonardo da Vinci (1452–1519), cuja engenhosidade articulava objetos e peças para criar máquinas capazes de executar funções até então inconcebíveis (CROMBIE, 1953, Capítulo IV; YAKIRA, 1994).

A mecanização das causas foi consolidada com o filósofo, matemático e cientista francês René Descartes (1596–1650), que,

[...] como um dos representantes mais consequentes da filosofia mecânica, rejeitou as causas finais aristotélicas, admitindo apenas causas eficientes do tipo mecânico. Daí a importância que adquirem as leis do choque em seu sistema: toda ação só pode ser uma ação contígua, um impulso, uma pressão, resultado, enfim, do contato físico entre os corpos materiais (ABRANTES, 2016, p. 126).

As raízes históricas do pensamento mecanicista são, portanto, longevas:

[...] os pensadores que efetivamente se denominaram mecanicistas na Idade Moderna, dando ao termo o seu significado histórico, resgataram explicitamente o pensamento atomista grego para a sua época, formulando o seu próprio pensamento à luz do que os Antigos teriam dito acerca de inúmeros assuntos. Desse modo, é ao menos minimamente razoável que interpretemos a maneira dos Antigos de pensar como igualmente “mecanicista”, ainda que de forma retrospectiva. Ou seja, um gênero histórico cujo nome foi cunhado na Idade Moderna, mas cujas teses e ideias

²⁴ Interpretada apressada e secamente, nossa afirmação pode levar à inadvertida conclusão de que o emprego das equações matemáticas na explicação dos fenômenos físicos não contempla termos implícitos e que, embora busque, inicialmente, responder à questão do “porquê o mundo funciona da forma como funciona”, depois de construídas as equações, essa questão poderia ser abandonada. Essa conclusão poderia decorrer da impressão de que, ao esclarecer “como” o mundo funciona, as equações nos permitem previsões bastante acuradas e, inclusive, novas descobertas, o que dispensaria a busca da resposta completa ao “porquê” que permite o entendimento da relação causal. Ponderamos, no entanto, que essa discussão pode avançar por camadas mais profundas de reflexão: a resposta inicial ao “porquê” é sempre imanente nas descrições matemáticas e ela enseja, em seguida, a busca do “porquê” em outros níveis teóricos. Assim, ao perguntar-se “por que a Lua não cai sobre a Terra?”, Newton formulou equações que descrevem um largo espectro de movimentos gravitacionais. Sua teoria da gravitação universal inclui noções teóricas explícitas, que aparecem nas equações, como massa, aceleração, etc., e noções não explícitas, que não compõem as equações, como ação à distância. O porquê inicial ao qual Newton se colocou é respondido sempre que suas equações sobre a gravitação são aplicadas, e essas respostas iniciais ensejam uma nova ordem de questionamentos causais, como “o que causa a gravitação?”. Einstein dará respostas a essas novas perguntas, com equações matemáticas endereçando problemas mais profundos, prolongando, ainda mais, a sequência de “porquês” nos questionamentos e a linha de explicações causais para o fenômeno gravitacional. Dito isso, adotaremos ao longo deste trabalho o pressuposto de que a matematização dos fenômenos, embora não seja recurso racional suficiente para a formulação de uma explicação causal completa, pode ser um componente a integrar, de forma constitutiva e relevante, as explicações causais.

fundamentais datam ao menos desde a Antiguidade, no âmbito da história intelectual ocidental [...] Assim, mesmo um pensador longínquo como Demócrito pode ser entendido como mecanicista “...em um sentido mais geral da palavra”, haja vista sua visão em que os eventos naturais seriam explicados em termos das partes de um sistema e suas atividades (DE SALLES ABREU, 2023, p. 36).

A ênfase na exigência de um mecanismo de causação material para os fenômenos impacta decisivamente na concepção de ciência e no corpo de conhecimento sobre os fenômenos físicos até então existentes, contribuindo para separar explicações naturalistas de especulações metafísicas, míticas ou religiosas. Afinal, de acordo com essa perspectiva de ciência, “toda a organização que observamos na natureza resulta de choques, de colisões cegas, sem finalidade (*telos*), sem um plano ou projeto, seja ele transcendente ou imanente (inscrito na própria natureza)” (ABRANTES, 2016, p. 41). Essa mudança na concepção de ciência abriu caminho, evidentemente, para novas teorias. A aplicação da racionalidade de causação mecânica permitiu, por exemplo, a inferência do princípio da inércia, cujos contornos foram delineados por Galileu, que prevê que um corpo permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme, a não ser que uma causa externa aja mecanicamente sobre ele e produza como efeito sua mudança de velocidade ou direção²⁵.

A mecanização das causas impacta também, profundamente, a própria trama de pressupostos da causalidade. A causalidade aristotélica, bem verdade, não excluía a produção mecânica dos efeitos. No entanto, Galileu descartou o finalismo aristotélico e escolástico, segundo o qual todos os processos que acontecem na natureza ocorrem para cumprir desígnios superiores, substituindo-o por uma concepção de mundo em que a natureza seria, tal como a via Demócrito na Antiguidade, fundamentalmente, um conjunto de fenômenos mecânicos (GALILEI, 1983, p. 11; KOYRÉ, 1966). Com Descartes, por fim, “todo animismo foi banido na esfera da física: o modelo de mundo deixou de ser um organismo para ser uma máquina” (ABRANTES, 2016, p. 126). Como consequência dessas contribuições, a interação mecânica consolidar-se-á, em definitivo, como um recurso primordial (embora não exclusivo) para o estabelecimento das explicações causais dos fenômenos físicos.

Galileu previu, ainda, critérios lógicos a serem respeitados quando do estabelecimento das relações causais. Para ele, a causa seria uma condição simultaneamente suficiente e necessária para a ocorrência do efeito (LOSEE, 2011, p. 17; YAKIRA, 1994, p. 9). Essa definição de causa apresenta um caráter operativo, a ser aplicada em conjunto com o método

²⁵ Por diferentes caminhos metafísicos e epistemológicos, René Descartes e Isaac Newton viriam a propor aprimoramentos à ideia de inércia, sendo a definição newtoniana mais efetiva. Sobre as diferenças nas “imagens de ciência” de Descartes e Newton, ver ABRANTES, 2016, p. 119-128.

indutivo de concordância e diferença, para aumentar o rigor das conclusões teóricas obtidas a partir da indução empírica. Com efeito, a física galileana dependia de definições operativas desse tipo e desse trabalho empírico rigoroso, não somente observacional, mas também experimental, de tal sorte que, quando Galileu não encontrava condições experimentais ideais na realidade concreta, ele as criava em experiências de pensamento (KOYRÉ, 1966, p. 79).

O caráter metodológico peculiar das experiências de pensamento nos motiva a discorrer sobre elas em mais algumas linhas. Sempre recorrendo a critérios lógicos rigorosos na concepção desses experimentos mentais, Galileu induziu, por exemplo, o princípio da inércia, ainda que, no mundo da experiência sensível, nem ele mesmo nem nenhum de nós nunca tenhamos nos confrontado com um movimento inercial ideal. As experiências de pensamento inventadas por Galileu (que não devem ser confundidas com meras especulações metafísicas ou com conclusões exclusivamente dedutivas, porque se baseiam, em larga medida, em uma indução rigorosa) são instrumento metodológico a que os cientistas continuam a recorrer até os tempos atuais. Conforme Yakira (1994, p.19), “não se trata de uma especulação filosófica, mas de uma tentativa de imaginar as condições experimentais ideais e ver como os corpos se comportam nessas circunstâncias”, de modo que “os resultados dessas ‘experiências de pensamento’ teriam sido considerados por Galileu como mais certos que aqueles oriundos da experiência ou da observação ordinárias”²⁶. Rigorosamente empreendidas, com efeito, as conclusões das experiências de pensamento podem contrapor-se às evidências do senso comum ou, até mesmo, a teorias científicas em vigor, bem como antecipar efeitos nunca antes observados, do que são exemplos as teorias da relatividade restrita e geral, induzidas por Albert Einstein com uso desse recurso metodológico. As experiências de pensamento galileanas atestam, portanto, que o método de indução rigorosa estava incrustado no modelo de investigação causal científica que se desenvolvia.

Com a obra de Galileu, configura-se, destarte, um novo modelo de causalidade. O tradicional modelo aristotélico de causalidade era qualitativo, finalístico e recorria à indução enumerativa e intuitiva para alcançar suas conclusões. O modelo da causalidade mecânica que emergia, por sua vez, expressava-se por meio da linguagem matemática, prescindia da causa final, mecanizava a causa eficiente e exigia métodos rigorosos de indução. As diferenças entre os dois modelos são tão profundas, que elas chegam a fazer parecer, sob o olhar contemporâneo,

²⁶ Traduzido de YAKIRA, 1994, p.19: “*Il ne s’agit pas d’une spéculation philosophique, mais d’une tentative pour imaginer des conditions expérimentales idéales et voir comment les corps s’y comportent [...] Les résultats de ces « expériences de pensée » aient été considérés par Galilée comme plus certains que ceux de l’expérience ou de l’observation ordinaires*”

que as explicações causais aristotélicas não poderiam ser consideradas científicas. Galileu considerava as explicações aristotélicas científicas, mas não-aceitáveis, pois eram qualitativas e não matematizáveis (Losee, 2001 p. 48). O modelo da causalidade mecânica inaugura, de fato, a física fundamental moderna, que se tornará, por sua vez, em larga medida, um modelo para as ciências empíricas modernas e contemporâneas em geral. Guardando esse desenvolvimento epistemológico em mente, o que veremos na continuidade deste capítulo será como esse modelo de causalidade mecânica será aprimorado, progressivamente, com as contribuições das teorias científicas produzidas ao longo dos séculos que se seguiram à época Galileu.

1.2.a Princípios físicos básicos

O caminho escolhido por Galileu, de recurso a uma racionalização rigorosa no estabelecimento da causalidade, também foi explorado por Descartes. Para Descartes, a reflexão em nós mesmos e a racionalização dedutiva seriam capazes de nos dar acesso a uma realidade verdadeira, cognitivamente superior àquela apreendida por meio dos sentidos, tão perfeita quanto a realidade matemática alcançada pela geometria analítica que ele próprio inventara (DESCARTES, 2006).

Partindo dessa premissa, de primazia da dedução no acesso ao conhecimento verdadeiro, Descartes defendeu a ideia de existência de princípios físicos básicos, que assumiriam um caráter de leis, a balizar o funcionamento de todo o universo (DESCARTES, 2020). Esses “princípios físicos básicos”, dos quais são sinônimos os termos “leis universais” ou “leis da natureza”, na medida em que enunciam as regras de funcionamento do universo, impõem, necessariamente, limites a serem respeitados no estabelecimento das relações causais que buscam explicar os fenômenos do mundo material.

O próprio Descartes enunciou um desses princípios físicos básicos: o princípio da conservação do movimento (DESCARTES, 2006). Embora Descartes tenha derivado sua noção de conservação do movimento de Deus, que para ele seria o ente responsável por injetar no universo seu movimento inicial, e ainda que, atualmente, a grandeza conservada seja calculada com utilização de variáveis físicas diferentes daquelas por ele propostas²⁷, a conservação do movimento é, ainda hoje, um princípio físico não contraposto. Explicações causais que ousem

²⁷ O enunciado final de Descartes sobre o princípio da conservação do movimento é impreciso, pois considera que o que é conservado é o produto do volume pela velocidade. Ver DESCARTES, René, *Princípios da Filosofia*, 2006, parte II, item 47. Newton corrigirá o enunciado cartesiano da conservação do movimento, substituindo-o pelo produto da massa pela velocidade.

desrespeitar princípios físicos básicos, como o princípio da conservação do movimento, não logram, portanto, serem consideradas explicações científicas válidas.

O sistema cartesiano de leis físicas previa, ainda, uma hierarquia normativa (DESCARTES, 2020): leis físicas particulares deveriam conformar-se às leis físicas mais gerais, previstas por outras teorias do mesmo campo do saber, as quais, por sua vez, deveriam conformar-se aos princípios físicos básicos, estes transversais a todos os fenômenos do mundo material. Com Descartes, consolidava-se, assim, uma lógica dedutiva, vigente até os tempos atuais, de validação de uma relação causal científica: uma relação causal é válida se, e somente se, o argumento que a estabelece estiver em conformidade com os princípios lógicos básicos (fundados, sobretudo, em axiomas matemáticos), em conformidade com os princípios físicos básicos (leis universais) e, ainda, em conformidade com os enunciados teóricos gerais daquele campo específico do saber, sedimentados por outras teorias (conformidade dos enunciados teóricos particulares com as leis gerais do campo de estudo).

Além desses aspectos normativos, quando Descartes enuncia o princípio da conservação do movimento, ele nos aporta, também, uma representação paradigmática da produção mecânica do efeito pela causa: o modelo do choque das bolas de bilhar. Para Descartes, a física é a ciência da matéria e do movimento, e a investigação científica deve basear-se na premissa de que todo fenômeno físico é redutível a um evento típico, que nos permitiria investigar essas relações entre matéria e movimento. Esse evento típico é, para ele, no caso do princípio da conservação do movimento, o choque entre partículas perfeitamente duras e em movimento, à semelhança de bolas de bilhar perfeitas, choque do qual decorreria a transferência do movimento de uma partícula a outra. A mudança de movimento resultante das partículas em choque seria determinada pela relação entre suas grandezas físicas (peso e extensão para Descartes, que não formulou a definição de massa) e as características de seus movimentos prévios ao choque (velocidade e direção), as quais assumem a natureza de variáveis matematicamente quantificáveis (YAKIRA, 1994, p. 28).

Essa representação cartesiana da mecanização da causa como um evento de choque de bolas de bilhar é simples, residindo exatamente nessa simplicidade a qualidade que permitirá a universalização da racionalidade da causalidade mecânica para outros fenômenos físicos. Em termos gerais, toda mudança precisa ser explicada, ou seja, todo efeito de mudança possui uma causa. Em toda explicação causal, a causa produz o efeito por meio de uma interação ou de longas cadeias de interações entre partículas, ou partes de sua extensão, interações essas que se procedem à semelhança de choques perfeitos entre bolas de bilhar. Bem verdade, o projeto

filosófico de Descartes vai mais além. Ele não concebe a causalidade mecânica apenas como um princípio básico da física clássica, mas sim como um princípio universal de todas as explicações científicas do mundo material (DESCARTES, 2020). As possibilidades e os limites dessa universalização do modelo de causalidade mecânica para outras ciências, além da física clássica, despertam importantes discussões filosóficas, de modo que voltaremos a esse tópico adiante neste trabalho.

Por ora, avancemos na constatação de que o modelo das bolhas de bilhar é revelador também de uma outra característica da causação mecânica, que diz respeito à lógica de exterioridade da relação entre as partículas que interagem na produção do efeito. Na pré-condição estabelecida pelo modelo cartesiano, as partículas que entram em choque são desprovidas de quaisquer propriedades intrínsecas – poderíamos dizer até, para contrapor essa noção ao modelo aristotélico, desprovidas de qualquer essência interna – que possam influenciar no choque. Não é, portanto, dentro das bolas de bilhar ou em sua natureza intrínseca que encontraremos a explicação para a mudança de movimento delas após o choque, mas sim na relação externa entre elas. Em termos gerais, nenhuma propriedade intrínseca, pré-existente, das partículas que interagem para a produção de um efeito poderia ser considerada na explicação causal do fenômeno. Matéria era, para Descartes, essencialmente extensão. Essa racionalidade era, logo, incompatível com a noção de modos causais material e formal de base aristotélica, que são fundados na premissa de que é a “natureza intrínseca” da matéria que determinará sua transição de um estado potencial para um estado atual.

O racionalismo extremo de Descartes aportou à racionalidade científica, ainda, a exigência do rigor na definição dos conceitos, tão melhor quanto mais próximo do rigor matemático. Essa proscrição da ambiguidade e da incoerência conceitual se fez acompanhar de outras exigências metodológicas (atualmente difundidas com a adjetivação de exigências “cartesianas”), como a necessidade de definição precisa do objeto de uma investigação científica e a clareza na definição de critérios de efetividade para as explicações causais. Para o modelo cartesiano, o rigor conceitual é indispensável, afinal: “Descartes era tão ‘científico’ quanto Galileu e Newton: todos concordavam que experimento e observação eram a base indispensável para o conhecimento sobre o mundo, mas Descartes enfatizava a importância

central da dedução a partir de verdades gerais incontestáveis, em oposição à indução a partir de casos particulares”²⁸ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.83).

Por fim, Descartes também atacou, na linha de Francis Bacon anteriormente discutida, o componente finalístico do modelo aristotélico. Descartes atribuía à ideia de causa final aristotélica um caráter supersticioso, místico (LOSEE, 2011, p. 19). Para ele, não seria na finalidade da interação, mas sim no “como” os entes causa e efeito interagem que deveria estar concentrada a atenção do cientista, interações essas que deveriam se conformar aos princípios físicos básicos. Sua concepção de ciência se prolongaria por meio de pensadores como Immanuel Kant, que se sentia “desconfortável com a discussão sobre a causa final, porque parece implicar design, e isso simplesmente não é aceitável na ciência. Só podemos falar em termos de causas materiais”²⁹ (RUSE, 1970, p. 403).

Se nesse momento confrontarmos, mais uma vez, o modelo em desenvolvimento de causalidade mecânica com o modelo tradicional de causalidade aristotélico, constataremos que, após Descartes, uma nova série de clivagens se consolida. A exigência de um componente de causa final é definitivamente excluída da explicação dos fenômenos da física clássica. No modelo de causalidade que se incorporava à física moderna, a causa eficiente é privilegiada, passando a matematização e a mecanização a serem dois recursos de racionalidade decisivos para assegurar quantificação, materialidade e efetividade às explicações dos fenômenos do mundo material.

1.2.b Interação mecânica e atomismo

Ainda no século XVII, o resgate da teoria atomista clássica de Demócrito e Leucipo, reformulada em novas bases por pensadores como Pierre Gassendi (1592-1655), aportou sustentação adicional ao modelo da causalidade mecânica³⁰ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008).

²⁸ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.8: “*Descartes was just as ‘scientific’ as Galileo and Newton: they all agreed that experiment and observation were the indisputable basis for knowledge about the world, but Descartes emphasized the central importance of deduction from incontrovertible general truths as opposed to induction from particular instances*”.

²⁹ Traduzido de RUSE, 1970, p. 403: “*uncomfortable with final-cause talk, because it does seem to imply design, and this is simply not acceptable in science. We are only allowed to talk in terms of material causes*”.

³⁰ Alguns dos conceitos e teorias da Idade Antiga, que foram resgatados durante a Revolução Científica, haviam permanecido vivos durante a Idade Média não somente em traduções dos textos clássicos para o árabe, como também em escritos originais de muitos autores muçulmanos, embora estes últimos não tenham tido talvez o devido reconhecimento nos anais da história e da filosofia da ciência ocidentais. É o caso, por exemplo, do atomismo de Demócrito e Leucipo, que pode ser encontrado nos escritos do pensador muçulmano Rasis (Abu Bakr

A ideia de átomos – partículas indivisíveis da matéria, duras e homogêneas, a compor todos os corpos do mundo material – corrobora a representação mecanicista de produção do efeito pela causa por meio de interações físicas. Galileu era, implicitamente, atomista; Newton também o será, no século seguinte. Mesmo na física de Descartes, embora assentada em uma metafísica anti-atomista, seria possível reconhecer, implicitamente, algumas noções atomistas em alguns de seus modelos, pois ele reconhecia a multiplicidade das dimensões constitutivas dos corpos materiais. No paradigma cartesiano dos choques das bolas de bilhar, poderíamos, por exemplo, por analogia, considerar átomos como sendo os protótipos das partículas perfeitas enunciadas por Descartes, sem grande prejuízo imagético para o modelo por este pensador proposto.

A reincorporação da lógica atomista à filosofia ocidental serviu, portanto, de apoio ao arcabouço conceitual da causalidade mecânica, o que se configura um importante desenvolvimento epistemológico dos modelos de causalidade. Não podemos deixar de destacar, adicionalmente, que a concepção atomista de ciência também permitiria a ampliação do corpo de conhecimentos específicos das relações causais na física clássica. No momento inicial de ressurgimento do atomismo, no século XVII, diante da carência de equipamentos e instrumentos que permitissem a observação de partículas de dimensões microscópicas, essa contribuição não se tornou evidente de imediato, assumindo o atomismo um caráter de abstração teórica. Com o progresso dos instrumentos que permitiriam a observação ou aferição, ainda que indireta, de partículas cada vez menores (atualmente, até mesmo, ao nível subatômico), diversos fenômenos do mundo macroscópico passarão a ter suas explicações causais encontradas ao nível microscópico. A partir do século XX, esses novos elementos de realidade extraídos do mundo empírico serão fundamentais para corroborar, simultaneamente, a efetividade de teorias físicas específicas e a validade geral do modelo da causalidade mecânica.

Retomando nossa análise sobre as contribuições de Pierre Gassendi, além de atomista, ele era um defensor da experimentação. Ele foi o indivíduo responsável por realizar, na realidade, a experiência prevista por Galileu no *Discurso sobre os dois grandes sistemas do mundo*. Nessa obra, Galileu apresenta um diálogo, de estilo socrático, entre os personagens Salviati (Galileu) e Simplicius (personagem que representa um pensador aristotélico), sobre

Ar-Razi, 864-930), aos quais Gassendi provavelmente teve acesso. Ver AGUTTER, Paul S; WHEATLEY, Denys N. *Thinking about life: the history and philosophy of biology and other sciences*. Springer Science & Business Media, 2008, p. 42. Nossa aceitação da noção de Revolução Científica, em adesão a uma historiografia da ciência ocidental clássica, tem por objetivo uma simplificação argumentativa, para que possamos avançar mais rapidamente na história epistemológica dos conceitos que nos interessam.

fenômenos gravitacionais. Salviati afirma para Simplicius que, contrariamente ao que este pensa, ao lançarmos uma pedra do alto do mastro de um navio, ela cairá ao pé do mastro, e não no mar, por partilhar com o navio o seu movimento, assim como nós partilhamos com o planeta Terra o seu movimento. Em 1640, Gassendi, efetuou, de fato, essa experiência, cuja explicação rejeitava, fazendo recurso ao princípio inercial, a oposição aristotélica ao movimento contínuo da Terra (YAKIRA, 1994, p. 43-44).

Dessa forma, o atomismo, como teoria, e mesmo a atuação pessoal de Gassendi, como cientista que o resgatou, reforçam a importância das interações materiais e da indução empírica para o modelo da causalidade mecânica, algo sobretudo premente naquele momento histórico do século XVII, que convivia com uma ênfase extrema na lógica dedutiva que emanava da obra de Descartes. Abria-se, também, gradualmente, espaço para que a experimentação reganhasse seu espaço na ciência moderna, o que culminará com o desenvolvimento progressivo de uma epistemologia verificacionista, cuja trajetória histórica e principais pilares conceituais traçaremos a seguir.

1.3 Uma epistemologia verificacionista³¹

Ainda no século XVII, em paralelo à revitalização do atomismo por Gassendi, surge na Inglaterra um grupo de cientistas liderados por Robert Boyle (1627- 1691), que aprofundará o método empirista por meio da defesa de uma prática científica eminentemente experimental. Tributários da filosofia da ciência de Francis Bacon, o que esse grupo de cientistas preconizava era mais que uma observação passiva do mundo material, era a intervenção deliberada do cientista em seu campo de estudo, via experiências especificamente concebidas para alcançar o conhecimento que se desejava (YAKIRA, 1994, p. 47). Em uma situação ideal de realização dessa intervenção, “um experimento é um arranjo pelo qual um objeto ou evento particular pode

³¹ Dadas as extensas contribuições dos empiristas lógicos para a sistematização de uma epistemologia verificacionista (conforme discutiremos adiante), ao longo do século XX, num período posterior àquele por nós estudado, esse termo viria a ficar marcadamente associado, na historiografia da filosofia da ciência, a esse movimento. Com auxílio sobretudo de Yakira (1994), buscaremos recuperar, nesta seção, o processo gradual de desenvolvimento dos princípios dessa epistemologia verificacionista até a fase da Síntese Evolutiva Moderna que estudamos, sem negligenciar que sua sistematização foi aprofundada posteriormente.

ser observado e medido sem interferência do restante do mundo³²” (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 2).

Para aplicar o método experimental que almejavam, fazia-se necessário que esses cientistas não somente desenhassem novos projetos de investigação, mas também desenvolvessem novos equipamentos e instrumentos de pesquisa. De fato, “a intervenção no funcionamento natural das coisas repousa na presunção de que a atividade do experimentador é análoga às causas naturais; a fabricação dos instrumentos e sua utilização nas experiências concretizam o modo de funcionamento das causas, naturais ou artificiais³³” (YAKIRA, 1994, p. 48). O próprio Boyle construiu uma bomba a vácuo que lhe permitiu alcançar importantes conclusões sobre o comportamento dos gases. Dos trabalhos desse grupo resultará a fundação, em 1660, da *Royal Society* britânica, primeira Academia de Ciências da modernidade. Resultarão, também, importantes compêndios científicos, entre eles os ensaios precursores da química moderna, alguns deles escritos pelo próprio Boyle. Com efeito, conforme nos recorda Agutter e Wheatley (2008, p. 85), “o ‘método baconiano’ tornou-se institucionalizado na filosofia natural britânica cerca de uma geração após a morte de seu autor, com os pais fundadores da *Royal Society* que o enunciavam como o único caminho aceitável para o conhecimento”, e seguiu adiante, pois “sua influência espalhou-se internacionalmente³⁴”.

Naquilo que nos importa para nossa discussão sobre causalidade, destacamos o fato de que o método experimental que se desenvolvia entre esses pensadores seiscentistas foi concebido sobre o arcabouço conceitual da causalidade mecânica e foi a ele incorporado como parte constitutiva, não sendo sem razão, por isso, que Abrantes tenha notado que:

[...] o recurso à experimentação talvez seja o traço mais frequentemente apontado como característico das ciências naturais. O cientista não observa simplesmente a natureza, mas produz (e reproduz) fenômenos em condições artificiais, em que alguns aspectos ou variáveis do fenômeno são controlados (ABRANTES, 2016, p. 100).

Boyle explicita, de forma ainda mais direta, essa vinculação da experimentação com o mecanicismo ao recorrer, em suas explicações, à metáfora do relógio de Estrasburgo, muito frequentemente usada entre os filósofos naturais da época para fazer referência a mecanismos

³² Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 2: “an experiment is an arrangement by which a particular object or event can be observed and measured without interference from the rest of the world”.

³³ Traduzido de YAKIRA 1994, p. 48: “L’intervention dans le fonctionnement naturel des choses repose sur la présomption que l’activité de l’expérimentateur est homogène aux causes naturelles ; la fabrication des instruments et leur fabrication dans les expériences concrétisent le mode de fonctionnement des causes, naturelles ou artificielles”.

³⁴ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 85: “The ‘Baconian method’ became institutionalised in British natural philosophy a generation or so after its author’s death with the founding fathers of the Royal Society pronouncing it the only acceptable route to knowledge. Its influence spread internationally”.

simples escondidos por detrás de precisos padrões de funcionamento observáveis (SCHOEN, 2002). É possível argumentar que a metáfora do relógio de Estrasburgo é algo imprecisa, desde seu nascedouro, para o objetivo explicativo a que se propõe, aquele de apresentar uma causa simples para explicar um fenômeno observável. Dado o fato de que podem existir múltiplos mecanismos internos capazes de explicar o funcionamento dos ponteiros de um mesmo relógio (ainda mais em se tratando dos relógios atuais), a metáfora traria problemas para a visão de realismo que Boyle tentava veicular. No entanto, naquilo que interessa para nossa análise, o uso da metáfora do relógio de Estrasburgo por Boyle e seu grupo de cientistas, naquele momento histórico, atesta o comprometimento da racionalidade dos experimentalistas britânicos com os princípios da causalidade mecânica.

Uma outra prática da *Royal Society* britânica viria a ser também incorporada aos métodos de trabalho científicos da época. Os instrumentos e procedimentos experimentais desenvolvidos por um dos membros da Sociedade eram compartilhados entre todos os demais membros do grupo de pesquisadores de Boyle em suas reuniões e, em seguida, tornados públicos a quem quer que desejasse repetir o experimento (YAKIRA, 1994). Se o experimento realizado por um pesquisador da *Royal Society* fosse repetido por algum outro pesquisador, interno ou externo a ela, sob as mesmas condições iniciais, aplicados os mesmos e rigorosos procedimentos metodológicos, utilizados os mesmos instrumentos, esperava-se chegar aos mesmos resultados alcançados pela experiência inicial. A transparência e a publicização dos experimentos pode parecer um ato trivial aos olhos de cientistas contemporâneos, habituados a submeter voluntariamente seus resultados ao crivo dos pares. Trata-se, no entanto, de uma inovação metodológica importante para a época, sobretudo para os experimentos da química, há longa data escondidos pela tradição alquimista (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 105-106). Essa transparência nos métodos de investigação e o consequente procedimento de verificação dos resultados que ela habilita se configurariam, gradualmente, em uma prática social denominada *peer review*, ou revisão por pares, que também se tornaria parte integrante da experimentação e do padrão-ouro da verificação da efetividade das conclusões científicas (ABRANTES, 2014).

Com a consolidação do conjunto de métodos e práticas associados à experimentação, estabelecia-se, assim, uma nova matriz metodológica de fundamentação da atividade investigativa científica. Com essa nova forma de fazer ciência, o método observacional não será desprezado; contudo, a observação será considerada, neste momento de desenvolvimento

histórico dos métodos científicos³⁵, tanto mais rigorosa quanto mais ela se aproximar de um experimento planejado, controlado e aplicado em condições ideais. Um dos mais célebres discípulos de Boyle, John Locke (1632-1704), fundará em torno dessa via – que era, em princípio, apenas metodológica – toda uma epistemologia em que as observações e os experimentos assumem a primazia no acesso ao conhecimento empírico e na comprovação da efetividade de teorias científicas (KOCHIRAS, 2023). Fundava-se, assim, uma verdadeira epistemologia empirista, experimentalista e verificacionista (YAKIRA, 1994).

Essa matriz epistemológica empirista, experimentalista e verificacionista impactará, decisivamente, o modelo da causalidade mecânica. Vejamos o porquê disso.

Sob uma racionalidade exclusivamente dedutiva, nos moldes cartesianos, uma teoria científica perfeitamente encadeada em termos lógicos possuiria, prontamente, alto valor explicativo. Para que a relação causal por ela estabelecida fosse considerada válida e verdadeira, seria suficiente que ela estivesse em conformidade com os princípios básicos da lógica, com as leis da natureza e com os princípios oriundos de teorias mais gerais do mesmo campo do saber. No extremo da racionalidade dedutiva cartesiana, como a realidade das ideias é considerada mais perfeita que a realidade empírica, ainda que evidências empíricas viessem a contradizer a teoria assim enunciada, esta não perderia seus fundamentos de validade e verdade, caso estivesse conforme às normas racionalistas supracitadas. Para uma teoria científica concebida nesse extremo de racionalidade dedutiva, os fundamentos de validade e verdade são encontrados, exclusivamente, no rigor lógico-normativo de seus conceitos.

Com o aprimoramento da experimentação e o desenvolvimento de uma epistemologia verificacionista, a indução empírica equiparar-se-ia, em valor racional como instrumento de inferência, à lógica dedutiva cartesiana. Por consequência, além da conformidade lógico-normativa acima mencionada (conformidade com a lógica formal e com a hierarquia das leis universais e específicas), as teorias científicas e a causalidade por elas estabelecidas deverão estar em conformidade, também, com a realidade empírica que buscam explicar. Dessa realidade, evidências devem ser extraídas, múltiplas vezes, e confrontadas, sob o crivo do mais

³⁵ Importa neste momento ratificarmos que, ao recuperarmos, de forma sintética, a trajetória de desenvolvimento epistemológico dos modelos de causalidade, em conjunção com os desenvolvimentos da metodologia científica, guardamos em perspectiva os entendimentos do momento histórico ao qual nos referimos. Não ignoramos as contribuições mais recentes, posteriores ao recorte temporal deste trabalho, para a sistematização dos critérios de validade dos conceitos científicos e para a estruturação metodológica da experimentação, sobretudo aquelas aportadas pelos empiristas lógicos na segunda metade do século XX e aquelas advindas de outras ciências, como as ciências biológicas.

severo rigor metodológico, por múltiplos cientistas. Se adequadamente testadas e verificadas, as explicações científicas passam a serem consideradas, no momento da avaliação, empiricamente efetivas, logo, as mais próximas possíveis da realidade do mundo material. No século XX, essa epistemologia empirista, experimentalista e verificacionista viria a ter seus métodos de testabilidade e verificabilidade estudados e sistematizados por filósofos da ciência de uma corrente de pensamento denominada Empirismo Lógico³⁶ (CARNAP, 2012; HEMPEL, 1966). Os empiristas lógicos eram filósofos que investigavam, formalmente, o método científico, em suas vias dedutiva e indutiva, com o objetivo de assegurar caminhos intelectuais rigorosos e reproduzíveis para o alcance de conhecimento científico crível, afinal, “sem uma hipótese clara e uma análise lógica dos resultados, a ciência experimental seria meramente um exercício de coleta de fatos³⁷” (HUMINIECKI, 2020, p. 1).

Com a consolidação de uma epistemologia verificacionista, as teorias científicas concebidas por uma racionalidade, simultaneamente, lógico-dedutiva e indutivo-empirista terão seus fundamentos de validade e efetividade³⁸ encontrados, igualmente, no rigor lógico-normativo de seus conceitos e no confronto deles com as evidências empíricas. Há limites para a testabilidade dos conceitos científicos (inclusive dos conceitos biológicos), dada, entre outras razões, a uma frequente impossibilidade metodológica de executar, em condições ideais, todas as etapas de verificação da adequação das teorias ao mundo empírico. Voltaremos a essa discussão ao longo deste trabalho. Ainda que ressalvas desse tipo possam ser feitas, o valor explicativo das conclusões obtidas sob o crivo dos critérios de testabilidade e verificabilidade experimental permanece elevado, o que fará da aplicação deles um objetivo a ser perseguido, uma espécie de padrão-ouro metodológico quando da verificação da efetividade de uma explicação científica. Em consequência, a concepção de ciência moderna, em geral, e a de ciências biológicas, em particular, são largamente tributárias de uma epistemologia verificacionista, sobretudo no período do desenvolvimento do evolucionismo de que trataremos (de meados do século XIX até as primeiras décadas do século XX).

³⁶ Voltaremos a abordar o Empirismo Lógico mais adiante, quando refletirmos sobre os valores cognitivos dos conceitos evolucionistas frente às exigências de testabilidade e verificabilidade, bem como discutiremos esses valores também frente à introdução, por Karl Popper, da exigência de refutabilidade. Para uma abordagem sintética e bem construída do Empirismo Lógico, ver CREATH, Richard. “*Logical Empiricism*”, The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2023 (Winter Edition). In: Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.).

³⁷ Traduzido de HUMINIECKI, 2020, p. 1: “*without a clear hypothesis and a logical analysis of results, experimental science would merely be a fact-collecting exercise*”

³⁸ Conforme mencionamos anteriormente, a sistematização dos pressupostos da epistemologia verificacionista, sobretudo com o trabalho filosófico dos empiristas lógicos, nos levou ao entendimento de que o conceito de efetividade seria mais acurado (e por nós, por isso, preferido) que o conceito de “verdade” para fazer referência à adequação de uma teoria científica à experiência da realidade empírica.

1.4 Universalização da causalidade mecânica

Cerca de meio século após os trabalhos de Galileu, Isaac Newton (1642–1727) colocará à prova, com resultados exitosos, o modelo de investigação causal que emergia no século XVII. Em algumas poucas décadas, Newton ampliou, sozinho, o corpo de nosso conhecimento sobre as relações causais dos fenômenos físicos mais do que o que se havia conseguido em séculos inteiros de trabalhos científicos antes dele (AGUTTER; WHEATLEY, 2008).

Em suas investigações físicas, Newton introduziu conceitos importantes como massa, força e aceleração, entre outros. Esses conceitos eram mensuráveis, verificáveis empiricamente e suportados por uma matemática rigorosa, o que lhe permitia fazer previsões robustas. O êxito³⁹ na comprovação da efetividade dos trabalhos de Newton não deixou a mínima dúvida entre os físicos de sua época e sucessores de que a melhor forma para alcançar o conhecimento sobre o mundo material seria por meio da aplicação, na investigação científica, de uma racionalidade fundada na causalidade mecânica e na epistemologia verificacionista.

A partir da segunda metade do século XVII, essa nova racionalidade, consolidada e difundida na teorização e na prática da física clássica, transbordará progressivamente para outros domínios do saber, desde as ciências da natureza até as humanidades. A obra do filósofo britânico Thomas Hobbes (1588-1679) é um dos importantes motores intelectuais dessa universalização da causalidade mecânica para outros domínios do conhecimento. Para Hobbes e sua concepção empirista de mundo, as relações humanas, nos níveis individual e coletivo, seguiam as mesmas regras de funcionamento das ciências físicas. Logo, os fenômenos da psicologia e da sociabilidade humanas deveriam ser explicados por princípios e leis que os relacionam às causas que o antecederam (YAKIRA, 1994, p. 50-51). Em seu livro *Leviatã*, de 1651, Hobbes explica a origem do Estado a partir dos condicionantes das relações humanas que o precederam. Existem, atualmente, explicações sociológicas, políticas e filosóficas que encontram as causas da existência das instituições na finalidade a que elas devem servir (visão funcionalista), o que configura uma estratégia argumentativa alternativa à centralidade nas condições pré-existentes que produziram essas instituições, conforme defendia Hobbes

³⁹ As teorias de Isaac Newton continuam a ser efetivas para maior parte dos fenômenos do mundo empírico com o qual nossos sentidos entram em contato diretamente – o mundo de baixas velocidades – e para muitos outros problemas da física e da engenharia. A Física Quântica e a Mecânica Relativística tornam-se necessárias quando se busca explicar, com precisão, respectivamente, os fenômenos ao nível subatômico ou em escalas astronômicas (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 68). A efetividade das teorias dos domínios quântico e astronômico não implica, portanto, necessária e automaticamente, uma invalidação das inferências newtonianas.

(ELDER-VASS, 2010). No entanto, a imposição hobbesiana de uma racionalidade fundada na origem “genética”⁴⁰, ou seja, na história prévia das instituições, representou outro forte golpe na racionalidade aristotélica finalística que monopolizava a explicação dos fenômenos sociais e humanos até então. Constatamos, com isso, que a lógica subjacente ao mecanismo universal hobbesiano de explicação dos fenômenos humanos é, indubitavelmente, tributária dos pressupostos do modelo da causalidade das ciências empíricas: o verdadeiro conhecimento sobre um fenômeno é alcançado quando conhecemos como sua existência material foi produzida a partir de causas materiais que a antecederam. É, portanto, na história de produção de uma coisa, não em sua finalidade, que encontramos sua causa.

Embora em algumas poucas páginas não seja possível detalhar toda a história do problema da causalidade, entendemos que os fundamentos conceituais aqui selecionados e recuperados nos permitem concluir que a racionalidade das ciências modernas e contemporâneas está, em larga medida, alicerçada no modelo da causalidade mecânica e em uma epistemologia verificacionista, arcabouços metateóricos que nasceram conjuntamente com a física clássica no século XVII, que a ela influenciaram e que nela, em contrapartida, se apoiaram. Diante do que apresentamos neste capítulo, podemos concluir, ainda, que a racionalidade científica contemporânea é simultaneamente hipotético-dedutiva e indutivo-empirista, o que implica que as explicações científicas a partir dela obtidas, para serem consideradas válidas e verdadeiras, deverão atender a requisitos epistemológicos e metodológicos específicos exigidos por ambas as racionalidades, de conformidade lógico-normativa e de efetividade empírica. Será com essas conclusões em mente que iniciaremos, no próximo capítulo, nossa análise sobre a influência dos pressupostos da causalidade mecânica e de uma epistemologia verificacionista sobre o desenvolvimento epistemológico do modelo explicativo evolucionista.

⁴⁰ Hobbes nomeia como “definição genética” aquela por meio da qual as propriedades de uma coisa somente podem ser deduzidas a partir da história de como ela foi produzida (YAKIRA, 1994, p. 54).

CAPÍTULO 2: O MODELO EXPLICATIVO EVOLUCIONISTA DARWINIANO

Evolução significa, *lato sensu*, mudança ao longo do tempo. Ideias e teorias científicas mudam, elas próprias, ao longo do tempo, conforme nos ensina a filosofia e a sociologia das ciências de Thomas Kuhn (2017); logo, conceitos científicos possuem, eles também, uma historicidade. Com a matriz teórica do evolucionismo não é diferente. Em nos alinhando a essa premissa, é com a evolução⁴¹ dos conceitos evolucionistas que nos preocuparemos a partir de agora.

Em abordagem análoga à reconstrução histórica dos modelos de causalidade que procedemos no Capítulo 1, nossa atenção, nos capítulos que seguem, não será concentrada nas contribuições específicas de pensadores ao corpo de conhecimento técnico específico sobre os fenômenos biológicos, mas sim em como suas teorias participaram da gradual construção do arcabouço conceitual do evolucionismo. A história que buscaremos recuperar será, portanto, uma história lógico-epistemológica dos principais conceitos evolucionistas, não uma história dos fatos e eventos relacionados às teorias da biologia⁴². Não pretendemos, tampouco, que nosso trabalho de sistematização conceitual do pensamento evolucionista moderno seja um trabalho historiográfico exaustivo, dada a densidade e extensão dessa história, que continua, inclusive, após a década de 1940 (extremidade distal do recorte temporal de nossa análise neste trabalho), até os dias atuais. Ademais, se considerarmos a multiplicidade de definições que um mesmo conceito evolucionista assumiu na obra de diferentes cientistas ao longo dessa história, perceberemos que os pensadores por nós selecionados não esgotam todas as possibilidades existentes de sistematização conceitual. Com essas ressalvas em mente, ressaltamos que o trabalho de reconstituição historiográfica em que nos engajaremos a partir de agora constitui-

⁴¹ Na expressão “evolução dos conceitos evolucionistas”, o termo “evolução” é empregado em *lato sensu*, como mudança ao longo do tempo, para fazer referência à história epistemológica dos conceitos evolucionistas. Veremos, mais adiante, que o termo “evolução” adquirirá um sentido mais restrito no âmbito das explicações dos fenômenos biológicos, decorrente das precisões conceituais aportadas às ciências biológicas pela Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural. Ao longo de todo o texto, empregaremos o termo “evolução”, em quase todos os momentos, em seu *stricto sensu*, conforme aplicado atualmente nas ciências biológicas. A única exceção a essa regra é justamente a expressão “evolução dos conceitos evolucionistas”, que dá título a este trabalho, em cujo emprego do termo “evolução” se dá em *lato sensu* e por analogia.

⁴² Para retrospectivas mais abrangentes sobre a história das teorias biológicas, incluindo as teorias evolucionistas, ver GRENE, 2004; MORANGE, 2016; BOWLER, 2009; AGUTTER; WHEATLEY, 2008; SOBER, 1994; HULL; RUSE, 1998; ABRANTES, 2018. Definições mais precisas para alguns conceitos biológicos serão fornecidas, em notas de rodapé, ao longo do texto, quando necessário. Neste trabalho, o cerne das discussões girará das definições dos principais conceitos evolucionistas.

se, portanto, em um exercício de síntese, com suas limitações inerentes em termos de escopo. Julgamos, no entanto, que esse exercício atende adequadamente ao nosso objetivo primaz, aquele de colocar em evidência as contribuições de importantes evolucionistas para o desenvolvimento epistemológico dos principais conceitos explicativos dos fenômenos biológicos, tendo como anteparo de referência a influência sobre eles dos pressupostos de causalidade das ciências modernas e contemporâneas. Para fecharmos esse *disclaimer*, vale reiterar, por oportuno, o que mencionamos no capítulo introdutório, de que a história das teorias biológicas não é o fim deste trabalho, pois colocaremos nossa síntese historiográfica a serviço da reflexão epistemológica sobre os conceitos evolucionistas.

Neste capítulo, recuperaremos as soluções conceituais encontradas por Charles Darwin para responder ao problema de “como?” e “por quê?” as mudanças ao longo do tempo se procedem no mundo dos seres vivos. Para produzir sua teoria, Darwin trabalhou com alguns conceitos e explicações naturalistas elaborados por pensadores que o precederam, os quais não podem ser ignorados, e que, por isso, serão por nós aqui visitados, ainda que de forma breve e panorâmica, no início de nossa reconstituição. Em seguida, o foco principal das demais partes deste capítulo voltar-se-á para as contribuições do próprio Darwin para o desenvolvimento conceitual do evolucionismo e para as influências sobre ele dos pressupostos do modelo de causalidade hegemônico na sua época.

2.1 Explicações naturalistas pré-darwinianas

Até o início do século XIX, a maioria das explicações mais aceitas, em sociedades ocidentais, para a origem da vida e da diversidade dos seres vivos recorriam à ideia da existência de uma ação criadora, executada por uma entidade divina, que teria forjado as espécies atualmente existentes simultaneamente, em formas acabadas e imutáveis desde sua concepção. Explicações desse tipo têm sido enquadradas sob a alcunha de criacionismo⁴³, que se configura, bem verdade, como uma definição genérica que integra um conjunto amplo e heterogêneo de teorias pré-evolucionistas, que vai além do criacionismo divino para incluir, por exemplo, a ideia de origem da vida a partir de geração espontânea (abiogênese) e, até mesmo, teorias não fixistas (GREENE, 1959; MEYER; EL-HANI, 2005).

⁴³ Para discussões mais aprofundadas sobre a relação entre criacionismo e evolucionismo, ver, por exemplo, ELDREDGE, Niles. *The Triumph of Evolution and the Failure of Creationism*. New York: W. H. Freeman, 2000; ou YOUNG, Willard. *Fallacies of Creationism*. Calgary, Alberta, Canada: Detrelog Enterprises, 1985.

Muitos dos argumentos que sustentam explicações pré-evolucionistas fixistas e criacionistas dos fenômenos biológicos são, em larga medida, ou tributários de uma racionalidade teológica ou alcançados sem os rigores lógico e metodológico exigidos pelas ciências. Uma vez que direcionamos nossa atenção para a causalidade nas teorias evolucionistas modernas, uma análise minuciosa de toda essa variedade de teorias naturalistas pré-darwinianas foge ao escopo de nosso trabalho. Não obstante, dois pressupostos comumente presentes em muitas das teorias pré-evolucionistas fixistas e criacionistas merecerão nossa especial atenção, pois servirão de anteparo de comparação, e, por vezes, de confrontação, para as primeiras teorias evolucionistas. Esses dois pressupostos são a noção de origem independente das espécies⁴⁴ e a noção de imutabilidade das espécies ao longo do tempo (fixismo).

Para entendermos o poder explicativo de teorias pré-darwinianas que visam a explicar os fenômenos biológicos, importa notar que, no século XIX, uma das concepções predominantes de mundo no Ocidente, que influenciava o entendimento dos indivíduos sobre a realidade empírica, emanava da fé cristã. Sob a perspectiva cristã, o planeta teria tido sua origem cerca de 4.000 anos⁴⁵ antes de Cristo e seria imutável desde sua criação por Deus, conforme interpretação literal do livro Gênesis, do Antigo Testamento da Bíblia (DOBZHANSKY, 1973). Tendo sido consolidada como hegemônica ao longo da Idade Média ocidental, esse tipo de concepção de mundo⁴⁶ influenciou a interpretação dos fenômenos da vida cotidiana em geral,

⁴⁴ Forma alternativa para fazer referência ao que aqui denominamos “origem independente das espécies” seria a utilizar a expressão “ausência de ancestralidade comum”. Em primeiro aspecto, consideramos que a definição de um conceito ou pressuposto por meio de uma “ausência” fragiliza seu valor racional, de modo que, com intuito de dar mais substância a nossas definições, optaremos (neste caso e ao longo de todo este trabalho) por proceder às definições por meio de ideias positivadas. Em segundo aspecto, a noção de “ausência de ancestralidade comum” pode incorrer no risco de anacronismo, por poder ser entendida como uma definição formulada por quem olha para a história da biologia sob uma perspectiva de após publicação da “*Origem das espécies*”, dado que foi com Darwin que a ideia de “ancestralidade comum” se sedimentou. Essas ponderações justificam, portanto, nossa preferência pelo uso do conceito de “origem independente das espécies”. Com efeito, o próprio Darwin, já na Introdução da *Origem das Espécies*, ao explicitar sua intenção de confrontar a concepção teórica até então predominante, o faz em termos próximos aos por nós aqui adotados: “*não me parece haver dúvida, com base no estudo mais intenso e no juízo mais desapassionado de que sou capaz, de que a teoria adotada pela maioria dos naturalistas, e que eu mesmo cheguei a adotar, segundo a qual cada espécie foi criada independentemente, está errada*” (Darwin, 2018, p. 45).

⁴⁵ Estimativa da idade da Terra realizada pelo bispo católico James Ussher, no século XVII (DOBZHANSKY, 1973; MAYR, 2002).

⁴⁶ Para Paulo Abrantes (2016, p. 21), “imagens de natureza” correspondem aos pressupostos metafísicos de um programa de pesquisas, enquanto “imagens de ciência” correspondem aos pressupostos epistemológicos, metodológicos e axiológicos dessa atividade. Em ambos os casos, a palavra “imagem” é utilizada em caráter metafórico para evocar a ideia de que se trata de representações, de caráter assistemático e imprecisamente definidas, dos respectivos conjuntos de pressupostos tácitos da atividade científica. O uso da expressão “imagens de natureza”, confessamos, nos incomoda, em particular por ela portar a ideia de “natureza”, que julgamos ser polissêmica. Neste trabalho, temos dado e continuaremos a dar preferência a fazer referência ao mundo material como realidade externa ao observador. A palavra “natureza” pode comportar, para muitas correntes filosóficas, uma conexão sujeito-objeto (perspectivas monistas corpo-mente ou unificantes matéria-espírito, por exemplo) ou

bem como imiscuiu-se nas explicações propostas para os fenômenos biológicos em particular, cujo estudo era comumente procedido, nessa época, por teólogos. As explicações naturalistas mais comuns vigentes à época de Darwin defendiam, destarte, que a entidade divina suprema teria criado todas as espécies, independentes umas das outras, em um curto período de concepção original (MAYR, 2002, p. 4). Além disso, permeia essas explicações a ideia de que todos os seres vivos, entre eles os seres humanos, seriam imutáveis desde sua criação até os tempos atuais (MEYER; EL-HANI, 2005).

Em explicações que adotam esses dois pressupostos, a diversidade dos organismos vivos e o grau da interação entre eles e o ambiente em que viviam, considerado ótimo, encontravam sua explicação na amplitude da vontade e da criatividade divina, assim como na perfeição de sua criação, argumento esse que podemos sumarizar na ideia de “design divino” do mundo vivo:

Desde que dispomos de registros escritos, um pensador ocasional ou o fundador de uma religião faria essas perguntas sobre ‘por que’ e ‘como’. Antes do surgimento da ciência, apenas revelações religiosas poderiam dar uma resposta. De fato, durante os séculos XVII e XVIII, as adaptações foram consideradas pelos crentes como prova da existência de um criador sábio, que projetou cada organismo criado com as estruturas e comportamentos adequados, necessários para seu lugar particular na natureza (por exemplo, William Paley). A teologia natural, o estudo da obra do criador, era considerada um ramo da teologia. Esta interpretação do design do mundo vivo ainda é defendida nesta era da ciência pelos criacionistas⁴⁷ (MAYR, 2002, p. 164).

A concepções de mundo fixistas e criacionistas não bloquearam todas as margens para avanços no entendimento dos fenômenos biológicos. Houve, com efeito, importantes progressos metodológicos nos estudos naturalistas prévios às teorias evolucionistas modernas. Em 1735, por exemplo, o taxonomista Carlos Lineu (1707-1778) publicou o *Systema Naturae*, obra em que institui um eficiente sistema de classificação hierarquizante da diversidade biológica. Outro célebre naturalista da época, o zoólogo francês Georges Cuvier (1769-1832), por sua vez, delineou um inovador método de anatomia comparada, que estruturou as bases da paleontologia moderna. Hierarquização taxonômica e comparação anatômica são, ainda hoje,

um componente de ordem cosmológica harmoniosa e transcendental (estoicismo, por exemplo) que não gostaríamos que permeasse a nossa reflexão, que é restrita à perspectiva da filosofia da ciência. Optamos, portanto, por utilizar a expressão “concepções de mundo” para nos referirmos aos pressupostos metafísicos subjacentes às argumentações e teorias científicas. Feita essa ressalva, salientamos, no entanto, que nosso uso de “concepções de mundo” coincide, em larga medida, com a aplicação de “imagens de natureza” por Abrantes.

⁴⁷ Traduzido de MAYR, 2002, p. 164: “As far back as we have written records, an occasional thinker or founder of a religion would ask these questions of why and how. Before the rise of science, only revealed religion could give an answer. Indeed, during the seventeenth and eighteenth centuries, adaptations were considered by the pious to be proof for the existence of a wise creator who had designed every created organism with the appropriate structures and behaviors needed for its particular place in nature (e.g., William Paley). Natural theology, the study of the work of the creator, was considered a branch of theology. This interpretation of the design of the living world is still defended in this age of science by the creationists”.

instrumentos metodológicos fundamentais para as explicações biológicas, como veremos adiante (AGUTTER; WHEATLEY, 2008). A maior parte dos naturalistas dessa época, embora não fossem, necessariamente, criacionistas, desenvolveram seus trabalhos – alguns deles, como os de Lineu e Cuvier, de alto valor metodológico – sem se contraporem às noções de origem independente e imutabilidade das espécies ao longo do tempo (SOBER, 2018).

No início do século XIX, explicações alternativas para os fenômenos biológicos, que admitiam mudanças das espécies ao longo do tempo, começaram a emergir. Entre as mais importantes delas está aquela proposta pelo naturalista francês Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), consolidada em seu livro *Philosophie Zoologique* (1809). Lamarck defendeu a ideia de que as espécies mudavam ao longo do tempo, transformando-se em novas espécies. Bem verdade, concepções de mundo que admitem algum grau de mudança no mundo material estão presentes, em alguma medida, em obras de pensadores anteriores a Lamarck, dado que contornos de ideias desse tipo, ainda que de forma inacabada, sem abranger o mundo vivo, podem ser identificados em textos que remontam à filosofia grega antiga. Para Heráclito (530-470 a.C), por exemplo, “todas as coisas fluem e se alteram sempre [...]; mesmo na mais imóvel existe um invisível fluxo e movimento” (DURANT, 1996, p. 81). No entanto, ao longo da Idade Média ocidental, com a hegemonia de uma concepção de mundo judaico-cristã, o desenvolvimento de perspectivas não fixistas de entendimento da realidade foi restringido, sobretudo pela predominância da ideia de que a ação criadora de Deus havia concebido o mundo e as espécies vivas em suas formas terminadas e imutáveis. Com Lamarck, portanto, “assentou-se um transformismo generalizado com respeito aos seres vivos (ABRANTES, 2016, p. 197).

Como causa para as mudanças dos seres vivos ao longo do tempo, Lamarck propôs a existência de uma “força interna”, que impulsionava os pais a produzir uma prole ligeiramente diferente deles. Lamarck defendeu também o princípio de herança das características adquiridas (CORSI, 2020; HULL; RUSE, 1998; MARTINS, 2015). Vejamos esses dois conceitos em mais detalhes.

O conceito de “força interna” em Lamarck é impreciso, podendo ser entendido como uma espécie de tendência inata dos seres vivos a uma maior complexidade, que leva os progenitores a produzir descendentes diferentes deles (CORSI, 2020). Lamarck não apresentou uma explicação para essa dita propensão. Para Fisher (1930, p.12), seria uma espécie de estado mental, de desejo inerente aos animais, com poder de produzir mudanças que beneficiariam o organismo que o manifesta e que aprimorariam, sobretudo, a aptidão de seus descendentes. Para nós, a ideia de “força interna” lamarckiana parece-nos afeita ao modelo causal aristotélico, na

medida em que prevê que a matéria, presente nos progenitores, seria detentora de potencial endógeno (essência) para se converter numa forma final diferente, a prole. Bem verdade, qualquer que seja a interpretação, o conceito de “força interna” apenas tenta salvar as aparências de uma explicação causal que Lamarck não conseguiu oferecer. A despeito de tudo isso, com essa argumentação, Lamarck demonstrava que, sim, ele levava em conta, em suas teorizações, uma evidência empírica que já era inquestionável aos naturalistas novecentistas, aquela de que existia uma variação evidente da prole de animais quando comparada aos respectivos genitores.

O princípio de herança das características adquiridas, segundo componente da explicação causal de Lamarck para a transformação dos seres vivos ao longo do tempo, era, para ele, talvez até menos importante que a ideia de “forças internas”. Esse princípio assume como premissa a ideia de que, para o atendimento de suas necessidades no contato com o ambiente em que vivem, os seres vivos usariam seus dotes físicos como se fossem ferramentas (MARTINS, 2015). O uso e o desuso desses atributos físicos promoveriam o desenvolvimento ou a atrofia gradual deles. Essas características adquiridas por um indivíduo ao longo de seu desenvolvimento seriam responsáveis por mudanças em sua constituição física e seriam, para Lamarck, assim como para maior parte de seus contemporâneos, transferíveis a seus descendentes (ABRANTES, 2018; CHEDIAK, 2008). Tomados esses dois elementos em conjunto – (i) as mudanças dos caracteres dos indivíduos ao longo de sua vida pelo uso e desuso, que são transmitidas aos descendentes e movidas por uma (ii) pulsão pelas forças internas em direção a uma complexidade progressiva –, constatamos que eles se configuram nos componentes causais aventados por Lamarck para a transformação de uma espécie em outra ao longo das gerações (BURKHARDT, 1977).

Nos séculos XVIII e XIX, para organizar a diversidade de entes do mundo material, era ainda popular a hierarquização de tudo o que existia, inclusive das coisas do mundo inorgânico, em uma mesma representação gráfica, denominada *Great Chain of Being*⁴⁸. Criada por volta dos anos 200 d.C. pelo Neoplatonismo, uma escola de filosofia do período de transição entre a Idade Antiga e a Idade Média, a *Great Chain of Being* encontra sua inspiração na *Scala naturae* de Aristóteles e em sua metafísica “organicista”:

⁴⁸ A imagem mais conhecida da *Great Chain of Being* é aquela representada pelo monge franciscano Didacus Valades, em seu livro *Rhetorica Christiana*, de 1579. Nessa escala, é possível visualizar as várias categorias de seres do mundo divino, como um deus e anjos; do mundo orgânico, como plantas, animais e o ser humano (categorizado acima dos animais); e do mundo inorgânico, como pedras.

Os detalhes das alegadas inter-relações entre os vários níveis do divino e os vários níveis da realidade física, desde objetos inanimados até humanos, deram origem, na Europa Cristã, ao conceito da *Great Chain of Being*. Esta era uma hierarquia linear que se estendia desde a matéria inanimada até Deus, e era considerada um desenvolvimento da Escada da Natureza de Aristóteles⁴⁹ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 33).

Na base dessa escala, estavam as rochas, o fogo e a água, enquanto em seu topo estavam os animais quadrúpedes, os primatas, até se chegar aos homens e deuses. Nessa escala, os seres do mundo orgânico e inorgânico são entendidos como elementos componentes de um mesmo todo único e integrado.

Entre os contemporâneos de Lamarck, a leitura então vigente dos níveis hierárquicos da *Great Chain of Being* era como se eles fossem *locus* estáticos, posições fixas de origem, onde poderiam ser situados e organizados os diversos tipos de entes materiais. Todos os seres vivos e as coisas existentes possuíam uma posição nessa espécie de cartografia da criação de Deus. Friedrich von Schelling (1775–1854) e Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) estão entre os célebres naturalistas defensores desse tipo de categorização do mundo (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 119). Lamarck passou a ler essa escala algo diferentemente, ao conceber a possibilidade de transformação de uma espécie em outra. Para ele, em vez de *locus* estáticos, atemporais, as posições na *Great Chain of Being* representavam um percurso histórico de transformação dos seres vivos, linearmente orientado em direção à complexidade, que teria começado, no passado, nas espécies mais simples, e que se tinha transformado ao longo do tempo, até alcançar, no presente, o ente mais perfeito, o homem (MARTINS, 2013).

A visão lamarckiana de evolução não admitia as ideias de extinção de uma espécie ou de ramificação dela em múltiplas outras espécies. As linhagens de espécies lamarckianas eram, portanto, unidirecionais e perenes, verdadeiros percursos ascendentes nos quais uma espécie ancestral pouco desenvolvida era sucedida por uma espécie mais desenvolvida, até chegarmos aos dias de hoje. Encontramos nesse encadeamento lógico as motivações para que alguns historiadores da ciência atuais adjetivem a teoria de Lamarck como sendo “transformacionista”, para marcar suas diferenças com o tipo de evolucionismo que viria a ser enunciado Charles Darwin (ABRANTES, 2018; CORSI, 2020)⁵⁰. Não obstante, mesmo com suas limitações, a

⁴⁹ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 33: “*Details of the alleged interrelationships between the various levels of the divine and the various levels of physical reality, from inanimate objects to humans, ultimately gave rise in Christian Europe to the concept of the Great Chain of Being. This was a linear hierarchy extending from inanimate matter to God, and was considered a development of Aristotle’s Ladder of Nature*”.

⁵⁰ Essa distinção entre o transformismo lamarckiano e o evolucionismo darwiniano nem sempre esteve presente na história da biologia. Em textos do início do século XX, as contribuições de Lamarck para o evolucionismo são

noção lamarckiana de um mundo vivo em constante transformação dava indícios de que explicações que admitiam uma mudança das espécies ao longo do tempo conseguiriam acomodar melhor as evidências empíricas do mundo vivo que as explicações fixistas. Lamarck aporta, portanto, importantes avanços conceituais às explicações dos fenômenos biológicos.

Durante todo o meio século que sucedeu a teoria de Lamarck, contudo, explicações fixistas, com sua concepção estática de mundo, ainda permaneceram como uma noção corrente entre os naturalistas no entendimento do funcionamento do mundo vivo. Bem verdade, o ponto de inflexão no processo gradual de transição definitiva, nas explicações dos fenômenos biológicos, de uma concepção fixista para uma concepção evolucionista somente acontecerá, de fato, com Charles Darwin e sua publicação de *A origem das espécies por meio da seleção natural ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*⁵¹, em 1859 (HULL, 1973).

Alguns elementos de contexto, de ordem sociológica, relativos ao momento em que Darwin publica a *Origem das espécies* merecem ser mencionados. Quando Darwin propôs sua teoria, ele já era um pensador respeitado, um dos mais célebres naturalistas de seu tempo, graças a seus trabalhos desenvolvidos na esteira de sua viagem a bordo do navio *HMS Beagle*, entre 1831 e 1836 (HULL, 1973). Prova da estima que a comunidade científica da época nutria por Darwin é que quando outro naturalista britânico, Alfred Russel Wallace, alcançou semelhantes conclusões sobre a dinâmica evolutiva, sobretudo no que concerne à ideia de seleção natural, ele consultou Darwin antes de publicá-las, à procura de legitimação para sua hipótese. Darwin e Wallace acabaram por apresentar, por sugestão de Charles Lyell e Joseph D. Hooker, suas ideias conjuntamente, em um artigo para a Sociedade Lineana de Londres, no Reino Unido, em 1858⁵². A descrição desses elementos de contexto sociológico nos auxiliará a entender, em nossa discussão mais adiante, alguns aspectos relacionados ao ambiente acadêmico que viria a recepcionar a *Origem das espécies* quando foi publicada, em 1859. Sem desprezar a importância desses condicionantes relacionados à sociologia das ciências, serão mais relevantes para nossa reflexão, contudo, os fundamentos conceituais do modelo explicativo evolucionista

comumente exaltadas e posicionadas em patamar semelhante às de Darwin, do que é exemplo ilustrativo uma conhecida biografia de Lamarck, publicada por Alpheus Spring Packard, em 1901, intitulada “Lamarck, the Founder of Evolution: His Life and Work”.

⁵¹ Para simplificação ao longo do texto, por vezes nos referiremos à obra canônica de Darwin somente por *A origem das espécies*, com supressão do restante do título, ou, até mesmo, apenas por *A Origem*.

⁵² O artigo intitula-se “*Three Articles on the Tendency of Species to Form Varieties and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection*”, tendo sido comunicado à *Linnean Society* por Sir Charles Lyell e por Joseph D. Hooker, e publicado no *Journal of the Procedures of the Linnean Society of London*, 3 (9), 1 jul. 1858, pp. 46–50.

proposto por Charles Darwin. Por isso, recuperaremos a seguir os pilares do edifício conceitual darwiniano⁵³.

2.2 Princípios básicos do evolucionismo

O arcabouço conceitual do evolucionismo darwiniano é centrado na tese de ancestralidade comum e mudança das espécies ao longo do tempo:

Há algo de grandioso nessa visão da vida que, com seus poderes únicos, foi soprada em umas poucas formas, senão em apenas uma; e, enquanto este planeta segue girando conforme as leis da gravidade, as mais belas e maravilhosas formas orgânicas evoluíram e continuam a evoluir (DARWIN, 2018, p. 634-635).

Em termos ontológicos, a origem independente das espécies na Terra – todas criadas ou originadas simultânea e independentemente umas das outras –, conforme previsto por explicações pré-evolucionistas, como aquelas do tipo criacionistas, é substituída por Darwin pela noção de uma origem comum das espécies – todas as espécies são descendentes de um ancestral comum⁵⁴:

Mas, apesar de todas as obscuridades, não me parece haver dúvida, com base no estudo mais intenso e no juízo mais desapassionado de que sou capaz, de que a teoria adotada pela maioria dos naturalistas, e que eu mesmo cheguei a adotar, segundo a qual cada espécie foi criada independentemente, está errada (DARWIN, 2018, p.45).

Essa mudança ontológica encadeia, *ex necessitate*, uma mudança de princípio normativo: do princípio de constância das espécies, que pauta explicações fixistas, para o princípio da evolução das espécies, que enuncia que, a partir de um ancestral comum, as espécies mudam e se diversificam, até chegarmos ao estado em que as encontramos no mundo atualmente:

Tenho plena convicção de que as espécies não são imutáveis, mas, ao contrário, aquelas que pertencem ao que se chama de mesmo gênero são descendentes lineares de outra espécie, via de regra, extinta, e que as reconhecidas variedades de uma espécie descendem dessa mesma espécie (DARWIN, 2018, p. 45).

Entendemos as ideias de ancestralidade comum e de mudança das espécies ao longo do tempo como sendo princípios básicos dos quais derivarão todas as explicações causais de

⁵³ Para discussões ainda mais aprofundadas sobre a obra e os conceitos de Charles Darwin, ver, por exemplo, BOWLER, 2009; SOBER, 2018.

⁵⁴ Por “ancestral comum”, não devemos aqui entender um único organismo primordial, em termos factuais, que teria dado origem a todos os demais organismos vivos na Terra, mas sim como uma ideia abstrata que faz referência a um ser ancestral primordial, tipificado como uma categoria de análise, que seria responsável por dar origem a outros organismos, a espécies e a outras categorias tipificadas de seres vivos.

Darwin e dos evolucionistas depois dele sobre a mudança dos seres vivos ao longo do tempo. Por corolário, toda teoria biológica que respeite esses dois princípios básicos poderá ser categorizada como sendo uma teoria evolucionista. Adicionalmente, a aceitação da premissa, enunciada por Theodosius Dobzhansky (1973), de que “nada na biologia faz sentido, exceto à luz da evolução”⁵⁵, implica considerar igualmente válida a generalização da aplicação desses dois princípios básicos não somente às explicações causais sobre a mudança dos seres vivos ao longo do tempo, mas a todo e qualquer tipo de explicações sobre fenômenos biológicos concebidas a partir de Darwin. Diante do que precede, sentimo-nos confortáveis para enfatizar o caráter seminal e distintivo que esses dois princípios assumem para as explicações causais dos fenômenos biológicos⁵⁶.

2.3 A Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural

Além de enunciar os dois princípios básicos do evolucionismo acima apresentados, Darwin avançou um arsenal de outros conceitos que compuseram sua proposta de explicação causal para o fenômeno evolutivo. Em seu conjunto, esses conceitos podem ser agrupados na denominada Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural.

Ao afirmar que os seres vivos mudam ao longo do tempo, Darwin passou a se deparar com novos questionamentos. Os dois mais imediatos questionamentos que podemos vislumbrar são “o que muda?” e “como muda?”. Sobre “quem muda?”, várias unidades de análise já estavam disponíveis para Darwin no momento em que ele estabeleceu sua teoria, em meados do século XIX, graças à classificação taxonômica criada por Carlos Lineu⁵⁷ (LINNAEUS, 1758). Indivíduos, espécies, gêneros, famílias e demais categorias taxonômicas hierarquicamente superiores, todas elas poderiam, em termos potenciais, variar ao longo do tempo. Isso deve-se ao fato de que, a partir de Lamarck, como vimos, estava posta a ideia de que não somente os indivíduos podem se transformar ao longo de seu ciclo de vida, mas também

⁵⁵ A frase original de Dobzhansky (1973) é a que segue: “*Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*”.

⁵⁶ Procederemos, ao longo deste trabalho, reflexões mais aprofundadas sobre os fundamentos de validade e efetividade desses dois princípios basilares do evolucionismo, assim como de outros importantes conceitos evolucionistas.

⁵⁷ O atual sistema de classificação taxonômica dos seres vivos ainda se baseia na categorização inicialmente proposta por Carlos Lineu em seu artigo *Systema Naturae*, publicado inicialmente em 1735, e desenvolvida *a posteriori*. Trata-se de uma hierarquização feita à semelhança de um sistema político monárquico, cujos principais níveis hierárquicos são espécie, gênero, família, ordem, classe, filo e reino, cada um deles permitindo diferentes subdivisões (LINNAEUS, 1758).

suas proles podem se transformar ao longo de gerações (ABRANTES, 2018; MARTINS, 2013). A consequência lógica dessa concepção não fixista do fenômeno evolutivo é que não apenas as espécies poderiam se transformar, mas também todas as categorias taxonômicas superiores aos indivíduos, uma vez que elas agrupam indivíduos em novas categorias segundo determinadas características. Sob o ponto de vista lógico-dedutivo, portanto, várias seriam as respostas possíveis para o questionamento “quem muda?”. Darwin encontrou, ele próprio, em suas pesquisas exploratórias de campo, evidências empíricas que corroborariam essa noção abstrata de que todas essas unidades de análise poderiam, de fato, evoluir ao longo das gerações. No entanto, como deixa evidente o título de sua principal obra, Darwin fará a escolha de concentrar sua preocupação no “mistério dos mistérios” (DARWIN, 2018, p. 39), que corresponde à “substituição de espécies extintas por outras”⁵⁸ (CAREY, 2014, p.18). Se refletirmos sobre a escolha de Darwin, notamos que, sob o ponto de vista epistemológico, a “espécie” constitui uma categoria de análise com propriedades particulares. Dado que “espécie” é a primeira e mais básica categoria de análise taxonômica, ela representa uma ponte epistemológica entre as noções de indivíduo e de grupo. O conceito de “espécie” não é precisamente definido em Darwin, que menciona que

[...] ainda não se traçou uma linha clara de demarcação entre as espécies e as subespécies (ou aquelas formas que, na opinião de alguns naturalistas, se aproximam de espécies, mas não alcançam o mesmo estatuto), ou, da mesma maneira, entre as subespécies e as variedades definidas, ou, por fim, entre variedades inferiores e diferenças individuais (DARWIN, 2018, p. 104).

No entanto, o conceito ganha uma importância operativa, pois, ao tipificar os indivíduos em uma categoria particular de grupo – quaisquer venham a ser os critérios escolhidos para a tipificação –, ele permite a análise de como as mudanças identificadas nos indivíduos, em comparação uns com os outros, têm relação com a transmissão das características distintivas do grupo ao longo das gerações.

Sobre “como as espécies evoluíam?”, podemos vislumbrar duas possibilidades lógicas se apresentando a quem, como Darwin, pensava o problema evolutivo no século XIX: uma mudança em saltos, na qual a unidade de análise muda de um tipo a outro, sem intermediários, como uma variável matemática discreta (uma espécie que, de um só golpe, transforma-se em uma nova espécie, por exemplo); ou uma evolução gradual, com estágios intermediários, como uma variável matemática contínua (uma espécie que, gradualmente, transforma-se em outra).

⁵⁸ Traduzido de CAREY, 2014, p. 18: “*that mystery of mysteries, the replacement of extinct species by others*”.

Para tentarmos dimensionar o problema intelectual de Darwin, vejamos as respostas apresentadas a esse mesmo questionamento - como as espécies evoluíam?” - por Lamarck, que com ele também se confrontou quando formulou sua teoria explicativa do fenômeno evolutivo. Para Lamarck, como vimos anteriormente, a mudança das espécies ao longo das gerações seria decorrente das variações desenvolvidas por alguns indivíduos que compõem essa espécie, pelo uso e desuso de seus caracteres no contato com o ambiente em que vivem, guiadas por “forças internas” em direção a uma maior complexidade. Essas variações seriam, em seguida, transmitidas a sua prole. Ao longo de algumas gerações, o conjunto de mudanças nas características dos descendentes diretos do indivíduo original transformariam esses indivíduos, em um salto, numa nova espécie, marcadamente diferente da original (ABRANTES, 2018; BURKHARDT, 1977; MARTINS, 2015).

A nossos olhos, a solução encontrada por Darwin para o questionamento de “como as espécies evoluíam?” foi distinta da de Lamarck. Como ponto de partida da resposta, podemos apontar que, para Darwin, cada indivíduo pertencente a uma espécie é um ser único em suas características físicas. Darwin inferiu essa generalização, de que nunca haveria dois indivíduos idênticos de uma mesma espécie, quaisquer seja a espécie analisada, a partir de evidências empíricas advindas de suas próprias observações da vida selvagem, realizadas durante e após a viagem a bordo do *HMS Beagle*, ou oriundas da aceitação como válidas das observações de plantas e animais realizadas por agricultores e criadores de rebanho. Darwin apresenta uma extensa lista de exemplos dessas variações ao longo da *Origem das espécies*, sobretudo no Capítulo I – Variação sob domesticação – e no Capítulo II – Variação na natureza (DARWIN, 2018).

Por corolário lógico desse pressuposto, a variação que se observa entre os indivíduos de uma mesma espécie deve ser esperada, também, em cada subgrupo de indivíduos dessa mesma espécie, dado que esses subgrupos de indivíduos, espalhados por diferentes localidades geográficas, são subconjuntos de um todo que corresponde à categoria abstrata “espécie”. Com Darwin, esses subconjuntos de indivíduos de uma determinada espécie passaram a constituir uma nova categoria de análise a ser considerada para a explicação do fenômeno evolutivo: a população. A variação entre esses indivíduos constitui-se, por conseguinte, em variação intrapopulacional.

Embora “população” seja um dos conceitos mais enunciados na *Origem das espécies*, Darwin não o define de forma precisa em nenhum momento do texto. Essa ausência de definição não nos parece comprometer o poder explicativo do argumento darwiniano, pois o

conceito de população assume nele um caráter eminentemente operativo, de modo que conseguimos apreender seu significado a partir dos usos que Darwin faz dele ao longo de sua obra. Em uma das passagens da *Origem das espécies* em que melhor podemos compreender a aplicabilidade da ideia de população, Darwin deixa evidente que encontrou sua referência para o conceito no economista britânico Thomas Malthus (1766-1834):

A luta pela existência segue-se inevitavelmente da alta taxa em que os seres orgânicos tendem a se multiplicar. Cada um dos seres que, no período natural de sua vida, produz numerosos ovos ou sementes, sofrerá destruição em algum desses períodos, em uma estação ou em um ano excepcional; não fosse assim, se tornariam tão numerosos, pelo princípio de sua multiplicação geométrica que não haveria região capaz de sustentá-los. Portanto, como são produzidos mais indivíduos do que o número que poderia sobreviver, existe sempre uma luta pela existência, seja entre um indivíduo e outro de uma mesma espécie, seja entre indivíduos de espécies distintas, seja entre os indivíduos e as condições de vida. É a doutrina de Malthus, aplicada com força muitas vezes redobrada à totalidade dos reinos animal e vegetal, nos quais não há, nem poderia haver, aumento artificial do suprimento de comida, nem existem as restrições de prudência impostas pelo casamento. Algumas espécies estão sempre, em um dado momento, multiplicando-se com maior velocidade do que antes; se todas o fizessem ao mesmo tempo, o mundo não teria como acomodá-las (DARWIN, 2018, p. 120-121).

A vinculação de Darwin ao pensamento malthusiano - via a ideia de população e outros conceitos, como veremos adiante - é por ele reiterada em outras passagens da *Origem das Espécies*, confirmada por Asa Gray no prefácio à terceira edição do livro⁵⁹, ademais de extensivamente consagrada na literatura especializada (HERBERT, 1971; RUSE, 1988;). Mergulhando nessa influência, observamos que Thomas Malthus, em sua obra clássica intitulada *An Essay on the Principle of Population*⁶⁰, publicada em 1798, fazia referência a aplicação de seu conceito de “população” a agrupamentos de seres humanos (MALTHUS, 1998). Da passagem acima da *Origem das espécies*, deduzimos que Darwin expandiu o escopo de abrangência do conceito de população. Com efeito, com Darwin, o conceito de população passará a fazer referência a quaisquer agrupamentos de indivíduos dos reinos animal e vegetal.

⁵⁹ Ver *The American Journal of Science and Arts*, v. 89, n. 36, mar. de 1860. Disponível online no Darwin Project: < <https://www.darwinproject.ac.uk/people/about-darwin/origin-species/review-origin-species>>. Acesso em 13 fev. 2024.

⁶⁰ A tradução tradicional do título da obra clássica de Malthus, em língua portuguesa, é *Um ensaio sobre a população*. Optamos por mencionar o título original, em língua inglesa, por entendemos que a tradução em português suprimiu um dos aspectos epistemológicos mais importantes da teoria malthusiana, o fato de que a população seria dotada de uma força (“the power of population”), por Malthus assumida como um princípio. Retornaremos a essa importante discussão mais adiante. Ademais, o subtítulo da primeira versão do livro de Malthus (*An Essay on the Principle of Population, as it Affects the Future Improvement of Society*) revela também o posicionamento ideológico do autor, permeado de um pessimismo quanto ao futuro da Inglaterra, em particular, e da humanidade, em geral, diante de um crescimento populacional que ele considerava ser a fonte primeira da miséria e dos demais problemas sociais advindos com a Revolução Industrial, no século XVIII.

Um segundo aspecto epistemológico relevante a ser considerado nessa influência é que, em Malthus, a ideia de população não se restringe ao seu sentido demográfico. A população é, em Malthus, também o *locus* de um poder específico, “o poder da população” (“the power population”), que ele assim dimensiona:

Assumindo então meu postulado como verdadeiro, eu digo que o poder da população é indefinidamente maior do que o poder na terra de produzir subsistência para o homem. A população, quando não controlada, aumenta em uma razão geométrica. A subsistência aumenta apenas em uma razão aritmética. Um leve conhecimento em números mostrará a imensidão do primeiro poder em comparação com o segundo.⁶¹ (MALTHUS, 1998, p. 4).

Com o poder que Malthus associa à ideia de população, o conceito assume com ele um caráter de princípio normativo que determina a luta pelos recursos de subsistência e, no extremo, pela própria existência da humanidade. A nosso juízo, Darwin importa de Malthus a ideia completa que ele tinha de população, de modo que, da noção de população em Darwin, não podemos dissociar a “força” que nele Malthus embute, essa força que ele chamava de “poder da população”. Esse particular aspecto epistemológico do conceito de população nos será importante para compreendermos, adiante, como, a partir dele, Darwin derivará o princípio da seleção natural.

Após essa contextualização do conceito de “população”, procedida com o objetivo de melhor compreendê-lo, retornemos à discussão sobre como Darwin respondeu ao questionamento de “como as espécies evoluíam?”. Na explicação darwiniana, são as populações que, ao variarem ao longo do tempo e de forma gradual, carrearão a mudanças ao longo das gerações de uma determinada espécie. Após algumas gerações, novas espécies poderão se formar, divergentes em alguns aspectos da espécie original, mas com ela aparentadas (HULL, 1976; SOBER, 1994). Para Darwin, a evolução processa-se, portanto, ao nível populacional⁶², não individual, e gradualmente, não em saltos:

É uma observação confirmada pelo velho adágio da história natural, *Natura non facit saltum* [a natureza não procede por saltos], máxima admitida por quase todos os naturalistas mais tarimbados; ou, como bem colocou Milne-Edwards, a natureza é

⁶¹ Traduzido de MALTHUS, 1998, p.4: “Assuming then my postulata as granted, I say, that the power of population is indefinitely greater than the power in the earth to produce subsistence for man. Population, when unchecked, increases in a geometrical ratio. Subsistence increases only in an arithmetical ratio. A slight acquaintance with numbers will shew the immensity of the first power in comparison of the second”.

⁶² A discussão sobre a primazia, em Darwin, da evolução das populações ao longo do tempo *vis à vis* a evolução individual não deve ser confundida com a discussão sobre os níveis que são alvo da seleção natural – seleção genética, seleção individual, seleção de grupo, etc. Sobre o debate, ainda candente atualmente, envolvendo os níveis e as unidades da seleção, ver a excelente análise de SANTILLI, Estela. Níveis e unidades de seleção: o pluralismo e seus desafios filosóficos. In: ABRANTES, Paulo César Coelho (org.). **Filosofia da biologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora PPGFIL-UFRRJ, 2018.

pródiga em variedades e avara em inovações. Seria assim na teoria da criação das espécies? Estariam ligados entre si, invariavelmente, todas as partes e órgãos de muitos seres independentes, cada um deles supostamente criado à parte e designado a um lugar na natureza? Por que haveria a natureza de dar saltos de uma estrutura a outra? Na teoria da seleção natural, compreende-se claramente por que ela não o faria, pois atua aproveitando-se de variações sucessivas mínimas e jamais poderia saltar, mas avança sempre, a passos curtos e lentos (DARWIN, 2018, p. 279).

Como a seleção natural atua unicamente pela acumulação de pequenas variações sucessivas e favoráveis, ela é incapaz de produzir grandes e súbitas modificações; ela atua com passos curtos e lentos. E assim torna-se inteligível, nessa teoria, o adágio *Natura non facit saltum* [a natureza não procede por saltos], reiterado a cada vez que se realizam novos acréscimos ao nosso conhecimento (DARWIN, 2018, p. 614).

A noção trazida por Darwin, de centrar no conceito de população o *locus* de ação do fenômeno evolutivo, promove uma mudança relevante na concepção das explicações dos fenômenos biológicos, resultando naquilo que se convencionou chamar de pensamento populacional (“population thinking”, no inglês) (HULL; RUSE, 1998; MAYR, 1982; MAYR, 2002, p.127; SOBER, 1994). Podemos até mesmo afirmar que o pensamento populacional modifica a própria definição de evolução. Conforme mencionamos anteriormente, “evolução”, *lato sensu*, significa mudança ao longo do tempo. Nas explicações pré-darwinianas dos fenômenos do mundo vivo, a acepção hegemônica do termo “evolução”, se presente, estava comumente associada à mudança que caracteriza o desenvolvimento de um indivíduo ao longo de seu ciclo de vida ou a transformação de uma categoria tipificada em outra. Com Darwin, o termo “evolução” passa a significar a mudança gradual de uma população, de uma determinada espécie, ao longo das gerações. Com essa reconfiguração conceitual, constatamos que o termo “evolução” ganhará um sentido específico nas ciências biológicas modernas, diferente do seu sentido *lato sensu* e da conotação pré-darwiniana, passando a significar, conforme sintetizou, com didatismo, Mark Ridley (2004, p.4-5):

[...] A mudança entre gerações dentro de uma população de uma espécie [...] quando os membros de uma população se reproduzem e produzem a próxima geração, podemos imaginar uma linhagem de populações, composta por uma série de populações ao longo do tempo. Cada população é ancestral da população descendente na próxima geração: uma linhagem é uma série “ancestral-descendente” de populações. A evolução é então a mudança entre gerações dentro de uma linhagem populacional. Darwin definiu a evolução como “descendência com modificações”, e a palavra “descendência” refere-se à forma como a modificação evolutiva ocorre em uma série de populações que descendem umas das outras⁶³ (RIDLEY, 2004, p. 4-5).

⁶³ Traduzido de RIDLEY, 2004, p.4-5: “[...] *change between generations within a population of a species [...] when the members of a population breed and produce the next generation, we can imagine a lineage of populations, made up of a series of populations through time. Each population is ancestral to the descendant population in the next generation: a lineage is an “ancestor–descendant” series of populations. Evolution is then change between generations within a population lineage. Darwin defined evolution as “descent with modification,” and the word “descent” refers to the way evolutionary modification takes place in a series of populations that are descended from one another*”.

O pensamento populacional, com suas importantes noções associadas – de que as populações variam, evoluem e se diversificam ao longo do tempo – ampliou, indubitavelmente, os horizontes das explicações dos fenômenos biológicos evolutivos. Esses conceitos sozinhos, contudo, não constituem ainda uma explicação causal completa para o fenômeno evolutivo. Como vimos no capítulo introdutório, a resposta ao “porquê” que funda a ideia de causalidade, que é o principal objetivo da investigação científica, depende da definição dos entes causa e efeito e do estabelecimento de uma relação válida e efetiva entre eles. Ao assumir a variação populacional como uma pré-condição causal para a ocorrência do fenômeno evolutivo, inferida a partir de evidências empíricas; ao assumir a mudança das populações ao longo do tempo como o possível efeito do fenômeno evolutivo, deduzido a partir da diversificação de espécies existentes; ora, estando os entes causa e efeito identificados, caberia a Darwin ainda responder, com uma explicação válida e efetiva, qual a relação que existia entre a variação populacional e a evolução da população ao longo do tempo.

Darwin não rejeita totalmente os componentes relacionais da explicação causal do fenômeno da evolução que foram empregados por muitos naturalistas que o precederam, entre eles Lamarck, como aquele de que haveria herança de variações adquiridas pelos indivíduos ao longo de seu ciclo de vida pelo uso e desuso de suas características⁶⁴. Darwin, portanto, aquiesce com ideias como as que

[...] as condições externas de vida, como o clima, a alimentação, etc., parecem induzir a algumas modificações mínimas. O hábito, por produzir diferenças de constituição, o uso, por fortalecer, e o desuso, por enfraquecer ou diminuir os órgãos, parecem ter efeitos mais poderosos (DARWIN, 2018, p. 245).

No entanto, Darwin atribuiu às variações produzidas pelo hábito e à herança dessas características adquiridas uma importância marginal no modelo explicativo da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural. Nesse sentido, ele ressalva que:

Minha teoria supõe que todas as espécies de um mesmo gênero descendem de um progenitor comum, e é de esperar que, ocasionalmente, variem de maneira análoga, de tal modo que a variedade de uma espécie se assemelhe, quanto a alguns caracteres, a uma outra espécie, que, por sua vez, não é mais do que uma variedade bem definida e estabilizada. Mas caracteres assim adquiridos provavelmente não têm muita importância, pois a presença de caracteres relevantes é governada inteiramente por seleção natural, de acordo com os diversos hábitos das espécies, e não deixada à atuação complementar das condições de vida e da transmissão hereditária de uma constituição similar (DARWIN, 2018, p. 237-238).

⁶⁴ A ideia de herança das características adquiridas era bastante difundida entre os naturalistas à época de Darwin, embora seu poder explicativo fosse questionado mesmo entre eles, como nos recorda Stanford, 2006, p. 135: “*although belief in the inheritance of acquired characteristics was quite widespread among biologists at the time Darwin wrote, its very existence remained a disputed and controversial empirical question even at this time*”.

Penso que podemos concluir, em geral, que o hábito, aliado ao uso e desuso, teve em alguns casos um papel considerável na modificação da constituição e da estrutura dos diversos órgãos, mas os efeitos do uso e desuso combinam-se com frequência à seleção natural de diferenças inatas – quando não são sobrepujados por ela (DARWIN, 2018, p. 217).

O problema relativo às causas profundas da variação e da transmissão de características entre as gerações permaneceu em aberto na obra de Darwin. Com efeito, sua teoria não podia prescindir da ideia de que, de alguma forma, as características variantes dos pais seriam transmitidas a suas proles. Na *Origem das espécies*, em suas primeiras edições, ele admite ignorar os mecanismos mais profundos que produziriam essa transmissão intergeracional de características:

As leis que governam a hereditariedade são praticamente desconhecidas; ninguém poderia dizer por que uma mesma peculiaridade em diferentes indivíduos de uma mesma espécie ou em indivíduos de espécies diferentes ora é hereditária, ora não, ou por que, quanto a certos caracteres, os filhotes com frequência reverterem a um dos avós ou a outro ancestral mais remoto, ou, ainda, por que muitas vezes uma peculiaridade é transmitida de um sexo para ambos ou, com mais frequência, porém não exclusivamente, de um sexo ao mesmo. (DARWIN, 2018, p. 56).

Nossa ignorância em relação às leis de variação é profunda. Em menos de um caso em cem poderíamos tentar explicar por que esta ou aquela parte difere, em maior ou menor medida, da mesma parte nos progenitores. Mas todas as comparações sugerem que as mesmas leis teriam atuado na produção de diferenças menores entre espécies de um mesmo gênero (DARWIN, 2018, p. 245).

Ainda que Darwin não tenha logrado apresentar resposta satisfatória para os mecanismos profundos de transmissão das características entre as gerações, consolidou-se no arcabouço conceitual do evolucionismo a noção de que a hereditariedade das características de uma geração para outra seria uma pré-condição necessária para a ocorrência do fenômeno da evolução nos seres vivos. Sem hereditariedade, não há evolução.

O desconhecimento dos mecanismos mais profundos de herança entre as gerações não impediu Darwin de inferir, graças a seu contato com evidências empíricas, sobretudo aquelas advindas dos trabalhos de criadores de animais e plantas, algumas características mais gerais do fenômeno da hereditariedade. De fato, ele constatou que a herança das características pelos descendentes de animais ao longo das gerações não se dá de forma automática e uniforme: algumas das características dos indivíduos de uma população eram herdáveis pelos seus descendentes, outras não; as características herdáveis eram herdadas por alguns descendentes, por outros não.

Do mesmo modo, há muitas diferenças menores que podem ser ditas individuais, como as que se encontram em proles com progenitores comuns ou supostamente comuns, pois são observadas com frequência em indivíduos de uma mesma espécie

que habitam uma mesma localidade confinada [...] Essas diferenças individuais afetam, em geral, partes que os naturalistas consideram desimportantes, mas eu poderia mostrar, com um longo catálogo de fatos, que partes ditas importantes do ponto de vista fisiológico ou classificatório podem variar em indivíduos de uma mesma espécie. O mais experiente dos naturalistas ficaria surpreso com o número de casos de variabilidade, mesmo em partes significativas da estrutura, que ele poderia coletar com base em testemunhos confiáveis, como eu fiz, ao longo de anos (DARWIN, 2018, p. 96).

Um alto grau de variabilidade é obviamente favorável, pois fornece materiais para que a seleção possa atuar mais livremente; não que as diferenças meramente individuais não sejam amplamente suficientes, tomadas as devidas precauções, para permitir o acúmulo de uma grande quantidade de modificação em praticamente qualquer direção desejada. Mas, dado que variações manifestamente úteis ou aprazíveis ao homem surgem apenas de maneira ocasional, a chance de ocorrerem aumenta quanto maior o estoque de indivíduos, o que, por sua vez, é determinante para o seu êxito (DARWIN, 2018, p. 87).

Em paralelo a isso, Darwin notou que alguns indivíduos da população aparentavam possuir mais chances de sobreviver que outros (DARWIN, 2018).

[...] uma pequena alteração inata de hábito ou estrutura que viesse a beneficiar um lobo individual aumentaria suas chances de sobreviver e legar uma prole. Alguns de seus filhotes provavelmente herdariam os mesmos hábitos ou a mesma estrutura, e pela repetição desse processo se formaria uma nova variedade, que suplantaria a forma progenitora ou coexistiria ao seu lado (DARWIN, 2018, p. 155).

Numa segunda linha de associações, Darwin deduziu que os dois eventos supramencionados – herança desigual e sobrevivência desigual – estariam relacionados. A relação entre esses dois eventos é o princípio estruturante da explicação darwiniana, ao qual Darwin atribui o status cognitivo de lei fundamental da natureza: a seleção natural. Dada a importância do conceito para a Teoria da Evolução por Seleção Natural, deixemos que o próprio Darwin o defina:

Desse modo, pode-se perguntar como as variedades, ou espécies incipientes, como prefiro chamá-las, vêm a ser convertidas em espécies perfeitamente definidas, que, na maioria das vezes, são muito mais diferentes entre si do que as variedades de uma mesma espécie; ou como surgem esses grupos de espécies que constituem o que chamamos de gêneros distintos, mais diferentes entre si do que espécies de um mesmo gênero. Tudo isso se segue, como veremos neste capítulo, da luta pela vida. Devido a essa luta, qualquer variação, por menor que seja, e não importa qual a sua causa, tenderá à preservação do indivíduo e será, em geral, herdada por sua prole, desde que se mostre vantajosa para um indivíduo de uma espécie em suas infinitamente complexas relações com outros seres orgânicos e com a natureza externa. Desse modo, os descendentes terão mais chances de sobreviver, pois, entre os muitos indivíduos de uma espécie que nascem periodicamente, apenas um pequeno número não perece. A esse princípio, pelo qual cada variação mínima é preservada contanto que seja útil, dei o nome de seleção natural, para diferenciá-lo do poder humano de seleção. (DARWIN, 2018, p. 118).

Para fundamentar o princípio de seleção natural, Darwin volta-se, mais uma vez, para Thomas Malthus. A partir de suas análises históricas de populações humanas de diversos países,

Malthus enuncia a ideia de que, em um ambiente de recursos limitados, os seres humanos competem entre si por seus meios de subsistência, sendo essa competição o elemento principal a determinar o crescimento populacional (MALTHUS, 1998). Darwin, como vimos, expandiu o escopo do conceito de população para abranger todas as espécies dos reinos animal e vegetal. Por corolário, ele generaliza também o enunciado geral malthusiano, de modo que as populações de animais e plantas dotadas de características que lhes atribuam uma vantagem frente a outras populações com que compartilham o mesmo ambiente terão maiores chances de sobrevivência na competição pelos recursos de subsistência. Num contexto de luta pela existência, a natureza agiria na preservação preferencial de alguns indivíduos de uma população de uma determinada espécie da mesma forma que um criador de animais age: munido de uma espécie de “condão”, nas palavras de Youatt escolhidas por Darwin, para preservar os melhores indivíduos de seu rebanho. Ilustramos, a seguir, o encadeamento desse argumento, conforme construído por Darwin ao longo da *Origem das espécies*:

Os criadores costumam se referir à organização dos seus animais como algo bastante plástico, que pode ser modelado quase a bel-prazer. Se tivesse espaço, eu poderia citar numerosas passagens extraídas das mais altas autoridades no assunto. Youatt, que provavelmente tinha mais familiaridade com o trabalho dos agricultores do que qualquer outra pessoa e, além disso, era um excelente juiz de animais, refere-se ao princípio de seleção como “o que permite ao agricultor não apenas modificar o caráter de seu rebanho, como alterá-lo por completo. É um condão, pelo qual ele dá vida a uma forma e a modela como bem entende” [...] Na Saxônia, a importância do princípio de seleção para a criação da ovelha merino é algo tão pacífico que os homens o praticam como um ofício: as ovelhas são dispostas sobre mesas e estudadas, como um quadro, por um *connoisseur*; o procedimento é repetido três vezes no intervalo de alguns meses, e a cada vez as ovelhas são marcadas e classificadas, para que apenas as melhores sejam selecionadas para reprodução [...] Se a seleção consistisse apenas em escolher uma variedade suficientemente distinta e obter dela uma prole, o princípio seria tão óbvio que mal seria notado; mas, na verdade, a sua importância está no grande efeito produzido pela acumulação em uma direção, por gerações sucessivas, de diferenças tais que o olho destreinado é incapaz de discernir [...] (DARWIN, 2018, p. 77-78).

Poderia o princípio de seleção, como vimos tão potente nas mãos do homem, aplicar-se na natureza? Veremos que ele atua aí com total eficácia (DARWIN, 2018, p. 143).

A esse princípio, pelo qual cada variação mínima é preservada contanto que seja útil, dei o nome de seleção natural, para diferenciá-lo do poder humano de seleção. Vimos que o homem é capaz, pela seleção, de produzir excelentes resultados e adaptar seres orgânicos a seus próprios usos mediante o acúmulo de variações mínimas, porém úteis. É um poder que ele recebeu das mãos da natureza. Mas a seleção natural, como veremos daqui por diante, é um poder sempre pronto a atuar e é tão imensuravelmente superior aos débeis esforços humanos quanto as obras da natureza são superiores às da arte (DARWIN, 2018, p. 118).

Encontramos em *An Essay on the principle of population* uma única referência à ideia de “luta pela existência” (“struggle for existence”) (MALTHUS, 1998, p.14). A ideia de “competição”, mencionada incontáveis vezes, nos parece ser mais relevante para o argumento

de Malthus, dado sua obra tratar-se de um tratado de economia. Darwin, por sua vez, faz uso abundante da expressão “luta pela vida” (“struggle for life”), ou suas variantes (“luta pela existência” e “luta pela sobrevivência”), inclusive no título da *Origem das espécies por meio da seleção natural ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*. A profusão do uso da expressão “luta pela vida” por Darwin demonstra, a nosso juízo, a importância que o autor atribui à ideia por ela aportada. É possível que Darwin tenha encontrado inspiração adicional para essa inferência nas discussões de Thomas Hobbes sobre o “estado de natureza” em que se encontraria a humanidade na origem do Estado, como destacou Asa Gray no prefácio que escreveu para a edição de 1860 da *Origem*:

O núcleo da obra é a tentativa de mostrar que tais variedades divergem gradualmente em espécies e gêneros por meio de seleção natural; que esta é o inevitável resultado da luta pela existência, na qual todos os seres estão envolvidos; e que essa luta é uma consequência inevitável de numerosas causas, mas, principalmente, da alta taxa de multiplicação dos seres orgânicos. Por curioso que pareça, a teoria está fundamentada nas doutrinas de Malthus e de Hobbes. O velho Augustin de Candolle concebeu a ideia de uma luta pela existência [...]; é uma ideia da qual Lyell e Herbert fizeram bom uso. Apenas Hobbes, no entanto, com sua teoria da sociedade, e Darwin, com sua teoria da história natural, ergueram sistemas sobre ela (Asa Gray, Prefácio à edição de 1860. In: DARWIN, 2008, p. 668).

Com efeito, entendemos que, ao ampliar a aplicação da ideia malthusiana de competição por recursos de subsistência para todo o reino animal e vegetal, Darwin o faz incorporando a ela, de forma intensa e definitiva, a noção de que essa competição seria o elemento determinante da vida ou da morte dos seres vivos: “Na natureza forjada por Darwin, muitos caem para que poucos possam progredir. A morte adquiriu um novo significado⁶⁵” (DESMOND; MOORE, 1991, p. 196). A luta pela existência das espécies, cuja derrota implicaria extermínio, assim se configura em Darwin:

Dado que cada espécie tende, por sua taxa geométrica de reprodução, a multiplicar de maneira indefinida o número de seus indivíduos, e como a descendência modificada de cada espécie aumenta cada vez mais à medida que sua estrutura e seus hábitos se diversificam, capacitando-as a se apropriar de muitos diferentes lugares na economia da natureza, a seleção natural tende constantemente a preservar a prole mais diversificada de uma espécie qualquer. Assim, durante um longo e contínuo processo de modificação, as tênues diferenças características de variedades de uma mesma espécie tendem a ser elevadas a diferenças maiores de características da espécie de um mesmo gênero. Novas variedades, melhoradas, irão inevitavelmente suplantam e exterminar as mais antigas, as menos aprimoradas e as intermediárias; e assim as espécies se tornam, em grande medida, objetos definidos e distintos. Espécies dominantes que pertencem aos grupos maiores tendem a gerar novas formas dominantes e, assim, cada grupo maior tende a se tornar ainda maior e, ao mesmo tempo, a diversificar seu caráter. Mas, como nem todos os pequenos grupos poderiam se multiplicar igualmente, pois o mundo não teria como acomodá-los, os grupos mais

⁶⁵ Traduzido de DESMOND; MOORE, 1991, p. 196: “In the Darwinian scheme of things, many must fall so that a few can advance. Death acquired a new meaning”.

dominantes vencem os menos. Essa tendência dos grandes grupos a aumentar cada vez mais e a diversificar o caráter, aliada a contingências que inevitavelmente atuam em toda extinção, explica o arranjo das formas de vida em grupos subordinados a grupos, sempre dentro de grandes classes, que hoje vemos por toda parte à nossa volta e que prevaleceu ao longo dos tempos (DARWIN, 2018, p.613-614).

Para que se possa tecer conclusões se uma determinada característica de uma população aumenta, em um determinado ambiente, sob determinadas condições, suas chances de sobrevivência, faz-se necessário, para que o encadeamento lógico do argumento seja válido, a adoção de conceitos que permitam uma avaliação comparativa de uma população *vis à vis* as demais populações que coabitam o mesmo ambiente. Darwin responde a essa necessidade, primeiramente, afirmando que existem características que aportam uma “vantagem” às populações que a possuem. Em seguida, Darwin associa a essa vantagem o importante conceito de “adaptação”. Assim sendo, um indivíduo de uma população é bem adaptado às condições de vida do ambiente em que vive quando ele possui as características as mais apropriadas possíveis para sua sobrevivência e reprodução nesse ambiente (DARWIN, 2018, Capítulos III e IV). As características que otimizam essa adaptação são, portanto, aquelas que promovem vantagem à população de indivíduos em questão frente às demais populações concorrentes. Para Darwin, a adaptação é o meio pelo qual a seleção natural opera:

Pois a seleção natural atua ou pela adaptação das partes variáveis de cada ser às suas condições de vida, orgânicas ou inorgânicas, ou por tê-las adaptado durante longos períodos no passado; em alguns casos, as adaptações foram auxiliadas pelo uso ou desuso [...] (DARWIN, 2018, p. 292).

A menor vantagem de um ser, não importa a idade ou a estação em que ela se manifeste, em relação àqueles com os quais compete, ou ainda, sua adaptação mais eficiente, por menor que seja o grau, às condições físicas circundantes, pende a balança a seu favor (DARWIN, 2018, p. 611).

Por fim, conforme Darwin, se o homem é capaz de grandes realizações por meio da seleção artificial, não haveria limites para as adaptações que a seleção natural poderia produzir por meio de sua ação por longos períodos. No longo prazo, a seleção natural seria responsável, portanto, pelo processo de evolução das espécies:

Por lento que seja esse processo, se o homem, com seus débeis poderes, é capaz de tantas realizações por meio de seleção artificial, não vejo limite para a quantidade de modificação, ou ainda, para a beleza e a infinita complexidade das coadaptações entre os seres orgânicos, uns aos outros e em relação às suas condições de vida, em virtude do poder de seleção da natureza, que atua em longos períodos (DARWIN, 2018, p. 176).

Apresentamos, a seguir, uma adaptação de um quadro extraído de Mayr (2002, p. 126), em que são sumarizadas as etapas de construção do encadeamento lógico de Darwin na formulação de alguns dos principais conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção

Natural. Nesse quadro, são elencadas as evidências que Darwin assumiu como verdadeiras, as fontes mais comumente apontadas na tradição historiográfica da biologia como sendo a origem para essas evidências e três importantes inferências que Darwin alcançou a partir das evidências de que ele dispunha.

Quadro 3: Etapas de formulação dos principais conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural de Darwin
<p>Evidência 1. Cada população tem uma fertilidade tão alta que seu tamanho aumentaria exponencialmente se não fosse contido. (Fonte: William Paley and Thomas Malthus)</p>
<p>Evidência 2. O tamanho das populações, exceto por flutuações temporárias anuais, permanece estável ao longo do tempo (estabilidade em estado estacionário inferida de observações empíricas)</p>
<p>Evidência 3. Os recursos disponíveis para cada espécie são limitados. (Fonte: observações empíricas, reforçadas pela teoria de Thomas Malthus)</p> <p>➤ Inferência n° 1: Existe uma intensa competição (luta pela existência) entre os membros de uma espécie (Fonte: Thomas Malthus, por ampliação do escopo do enunciado malthusiano)</p>
<p>Evidência 4. Os indivíduos de uma população são todos diferentes entre si (pensamento populacional). (Fonte: aceitação das conclusões de criadores de animais e taxonomistas)</p> <p>➤ Inferência n° 2: Indivíduos de uma população diferem entre si quanto às chances de sobrevivência⁶⁶ (seleção natural) (Fonte: Darwin)</p>
<p>Evidência 5. Muitas das diferenças entre os indivíduos de uma população são, pelo menos em parte, herdáveis. (Fonte: aceitação das conclusões de criadores de animais)</p> <p>➤ Inferência n° 3: A seleção natural, continuada por muitas gerações, resulta em evolução (Fonte: Darwin)</p>

Adaptação do autor de MAYR, 2002, p.126

⁶⁶ No quadro original de Ernst Mayr, o autor utiliza o termo “probability”. Optamos por, ao traduzir, adaptar o conceito, modificá-lo para “chances de sobrevivência”, pois entendemos estar este conceito em conformidade mais estreita com a apresentação original da ideia por Darwin. A noção de seleção natural associada a probabilidades estatísticas advirá, conforme discutiremos adiante, somente com a Síntese Evolutiva Moderna, não estando ela evidente em Darwin, a despeito de sua inspiração nos estudos populacionais de Thomas Malthus. A nosso juízo, portanto, uma apresentação dos conceitos originais de Darwin como sendo associados à ideia de probabilidade poderia incorrer no risco de anacronismo ou de interpretações equivocadas, o que gostaríamos de tentar evitar.

Constatamos, portanto, que, face ao questionamento que há milênios suscita à mente humana toda a diversidade de seres vivos existentes no mundo, Darwin respondeu com um conjunto de conceitos que formam o modelo explicativo causal da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural. Viemos de recuperar, nas linhas que precedem, de forma sintética, os conceitos que consideramos essenciais para a fundamentação do poder explicativo desse modelo. Esses conceitos foram sumarizados, para fins de simplificação, no Quadro 4.

Quadro 4: Principais conceitos evolucionistas enunciados por Darwin na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural	
Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural	Ancestralidade comum
	Mudança ao longo do tempo
	Variação populacional
	Hereditariedade
	Seleção natural
	Adaptação

Conforme antecipamos em nossa seção introdutória, assumimos, como hipótese para este trabalho, que o processo de formulação desses conceitos por Darwin sofreu influência dos pressupostos do modelo de causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista das ciências vigente no período. Com nossa hipótese em mente, refletiremos, na próxima seção, sobre como entendemos que se procedeu essa influência e as repercussões que ela exerceu na validade e na efetividade do modelo explicativo darwiniano.

2.4. Fundamentos de validade e efetividade da teoria evolucionista darwiniana

Para assegurar valor explicativo aos princípios de ancestralidade comum e de mudança das espécies ao longo do tempo, bem como aos demais conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, entendemos que Darwin se inspirou e recorreu a importantes recursos epistemológicos e metodológicos derivados do modelo de causalidade mecânica e da

epistemologia verificacionista das ciências modernas e contemporâneas, os mais importantes dos quais discutiremos nesta seção, a saber: noção de temporalidade evolutiva em alinhamento com explicações geológicas; modelo explicativo fundado em bases naturalistas; inferências empíricas e ilustrações taxonômicas; e generalizações formalizadas por meio de leis naturais.

2.4.a Noção de tempo geológico

Desde a Antiguidade, as descobertas de animais fossilizados sempre intrigaram muitos pensadores, despertando alguns questionamentos, como, por exemplo, qual seria a relação entre os seres ancestrais encontrados nos fósseis e os que vivem atualmente na Terra? Até meados do século XVIII, com achados fósseis ainda esporádicos, vinha sendo possível acomodar o entendimento sobre sua origem nas explicações naturalistas fixistas até então vigentes (HULL, 1974). O zoólogo francês Georges Cuvier, que há pouco mencionamos, ao comparar a anatomia de aves mumificadas trazidas do Egito com aves contemporâneas, concluiu pela inexistência de diferenças significativas na organização corporal desses animais, a despeito da distância existente na linha do tempo entre os exemplares. Para Cuvier, ambas as amostras, as fósseis e as contemporâneas, seriam exemplares de uma mesma espécie, com algumas variações marginais, apesar dos milhares de anos que as separavam (FARIA, 2020). Vereditos como esse, emitidos por respeitados naturalistas, ratificavam o entendimento a essa época predominante, aquele de origem independente e imutabilidade das espécies ao longo do tempo.

Ao final século XVIII, as descobertas, cada vez mais frequentes, de novas amostras fósseis trouxeram à tona exemplares de seres vivos marcadamente diferentes dos então disponíveis à observação *in vivo* (MAYR, 2002). Progressivamente, enfraquecia-se o valor explicativo da tese de que os exemplares fósseis e os exemplares contemporâneos seriam variantes de uma mesma espécie ainda viva, com diferenças apenas marginais. Ademais, houve um acúmulo progressivo, também, de achados fósseis de animais que pareciam ser, em termos de estrutura física, aparentados entre si. Isso passou a tornar possível vislumbrar a eventual existência de formas intermediárias entre as formas fósseis antigas e as formas contemporâneas desses seres vivos. A conciliação desses novos fatos empíricos, advindos do aumento dos achados geológicos, com as explicações naturalistas então hegemônicas, sustentadas na origem independente e na imutabilidade das espécies, tornava-se, portanto, cada vez mais difícil (GRENE, 2004; MAYR, 2002).

Estando as explicações fixistas dos fenômenos biológicos à prova, qual seria então a alternativa para explicar os achados fósseis? O caminho encontrado por Darwin para responder a essa questão foi recorrer a recursos epistemológicos (tanto conceitos, como concepção de mundo) utilizados por justamente aquela ciência física que vinha propiciando o aumento das descobertas fósseis, a geologia. Teorias geológicas dos séculos XVII e XVIII vinham se desenvolvendo com base em evidências empíricas que apontavam na direção de que o mundo possuiria uma duração muito maior do que os cerca de cinco milênios e meio previstos pelos cálculos feitos pelo bispo James Usher, com base nas escrituras bíblicas (DOBZHANSKY, 1973). Diante dessas evidências geológicas, instalava-se mais do que uma simples divergência entre teorias sobre a origem da Terra; travava-se um intenso embate entre diferentes concepções metafísicas de mundo, com temporalidades marcadamente distintas: um mundo relativamente recente, de apenas alguns milhares de anos, que seria constante desde sua criação por uma entidade divina *versus* um mundo bem mais longo, talvez de milhões de anos de duração, que afrontava a interpretação literal dos textos religiosos até então consagrada. As explicações geológicas setecentistas e oitocentistas modificaram, portanto, de forma drástica, a percepção de tempo tanto na esfera científica quanto social (KOJMAN-ROZEN, 2011).

Um dos grandes expoentes da geologia da época, o escocês Charles Lyell (1797-1875), foi amigo pessoal de Darwin e exerceu sobre ele profunda influência teórica. Um dos poucos livros que Darwin levou consigo a bordo do navio *HMS Beagle*, durante sua viagem de exploração científica pela América do Sul, foi a principal obra de Lyell, o livro *Princípios de Geologia* (1830-1833), um compêndio que faz uma síntese do conhecimento geológico da época (KOJMAN-ROZEN, 2011). A referência aos *Princípios da Geologia* e, mais diretamente, ao próprio Lyell, como fontes de inspiração científica para a elaboração da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural aparece na *Origem das espécies*, de forma expressa, em variadas ocasiões, ao ponto de Darwin chegar a nos alertar que:

[...] quem leu os *Princípios de Geologia*, obra-prima de Sir Charles Lyell, a que os historiadores futuros atribuirão uma verdadeira revolução nas ciências naturais, e, mesmo assim, não se sente preparado para admitir o quão inconcebivelmente longos foram os períodos de tempo passados, faria melhor em fechar o presente volume (DARWIN, 2018, p. 384).

A influência pessoal de Lyell sobre Darwin e a influência científica das teorias geológicas sobre a Teoria da Evolução por Seleção Natural são elementos históricos bem documentados (GRENE, 2004; HULL, 1973; KOJMAN-ROZEN, 2011). Ademais de Lyell, Darwin também reconhece, na *Origem das espécies*, a importância do trabalho de outros

geólogos britânicos de expressão naquela época, como Roderick Impey Murchison (1792-1871) e Adam Sedgwick (1785-1873) (DARWIN, 2018, p. 414). Para a análise filosófica que propomos neste texto, importa ainda refletir sobre como essas influências advindas de teorias de uma ciência física particular, a geologia, se projetaram sobre a episteme da teoria darwiniana.

Conforme a teoria geológica uniformitarista de Lyell, a Terra encontra-se em um estado global de equilíbrio climático, geográfico e biológico, caracterizado por uma consistente estabilidade ao longo do tempo, não modificada pelas quebras de equilíbrio que ocorrem localmente, em territórios específicos do planeta (KOJMAN-ROZEN, 2011; LYELL, 2004; LYELL, 2023). Nesse sistema planetário em equilíbrio, as mudanças geológicas procedem-se em uma escala de tempo diferente da escala de tempo dos eventos percebidos na vida cotidiana. Dessa forma, para ilustrarmos com um exemplo, a ocorrência de uma tempestade numa determinada montanha, num pequeno vilarejo no Chile, é visível a seus habitantes. No entanto, o impacto infinitesimalmente limitado, porém existente, dessa tempestade no milenar processo geológico de formação da Cordilheira dos Andes é invisível aos olhos dessas pessoas.

Na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, entendemos que Darwin organiza seu argumento em conformidade com essa noção de tempo aportada pela teoria uniformitarista de Lyell. Darwin procede uma divisão dos fenômenos biológicos particulares em diferentes níveis de organização, nos quais as mudanças ao longo do tempo procedem-se em diferentes escalas de tempo e com diferentes impactos sobre o fenômeno evolutivo geral (KOJMAN-ROZEN, 2011). Os ponteiros dos relógios que marcam o tempo das mudanças que se procedem em populações particulares, em contraposição com o tempo das mudanças nas espécies em geral, giram, portanto, em diferentes velocidades. Assim como o longo processo de formação e modificação das estruturas geológicas, o processo de especiação⁶⁷ e mudança das espécies ao longo do tempo proceder-se-ia, portanto, numa escala de tempo impossível de ser diretamente apreendida por uma única vida humana, dado que dura milhares, até milhões de anos. Os resquícios fósseis dos seres vivos, incrustados nas múltiplas camadas geológicas, representariam evidências empíricas da existência de uma relação temporal entre os fenômenos da evolução geológica e da evolução biológica, embora essa relação não pudesse, à época de Darwin, e não possa, mesmo atualmente, ser direta e linearmente estabelecida⁶⁸. A noção de

⁶⁷ Especiação é o processo de formação de novas espécies a partir de um ancestral comum (FUTUYMA, 1983).

⁶⁸ Para Darwin, o tempo necessário para o surgimento de uma nova espécie, a partir de uma espécie existente, seria superior àquele necessário para produzir um novo estrato geológico: “*Embora cada formação possa marcar um intervalo muito longo de anos, esses intervalos são talvez seja curtos em comparação com o período necessário*

tempo geológico, com suas diferentes escalas, que assume em Lyell um caráter de lei geral, é, portanto, elemento conceitual central para a tese evolucionista darwiniana. Darwin aproxima, deliberadamente, as noções de tempo evolutivo do mundo geológico e tempo evolutivo do mundo orgânico. Ele próprio reconhece estar o fundamento de validade de sua teoria intrinsecamente subordinado à essa aproximação conceitual com a teoria geológica de Lyell, ao afirmar que “tenho confiança de que essa teoria [Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural] é verdadeira, pois está estritamente de acordo com os princípios gerais ensinados por Lyell” (DARWIN, 2018, p. 395).

2.4.b As bases naturalistas do evolucionismo darwiniano

Para definir explicações naturalistas, recuperaremos alguns dos conceitos que trabalhamos na seção introdutória e no primeiro capítulo deste trabalho. Explicações naturalistas são aquelas que explicam os fenômenos do mundo material recorrendo a um raciocínio causal cujos elementos constitutivos – o ente causa, o ente-efeito, a relação existente entre o ente-causa e o ente-efeito e os critérios utilizados para confirmar a validade e a efetividade da relação estabelecida entre o ente-causa e o ente-efeito – são encontrados, exclusivamente, no próprio mundo material. Dito de forma mais resumida, explicações naturalistas (ou “naturais”) são aquelas cuja racionalidade causal é estabelecida com elementos contidos, exclusivamente, no mundo material.

A definição de explicações naturalistas fica mais evidente quando procedemos sua contraposição com um outro tipo de explicações, as explicações sobrenaturais. Explicações sobrenaturais são aquelas que explicam os fenômenos do mundo material por intermédio de um raciocínio causal que recorre, parcial ou totalmente, a elementos constitutivos cuja origem é divina, mitológica, espiritual, religiosa ou mágica, ou que se fundamenta principalmente em outros componentes cuja origem transcende ao que é apreensível diretamente pelos sentidos ou aferível por meio de instrumentos de apreensão do mundo material (WILLIAMSON, 2021).

para mudar uma espécie em outra.” (Charles Darwin apud KOJMAN-ROZEN, 2011, p. 289-290). Métodos atuais de estimativa da idade dos fósseis, como o método de datação do carbono-14, mais precisos que os métodos tradicionais, conforme discutiremos futuramente, confirmam a impossibilidade de estabelecer uma relação imediata e direta de sincronia entre a idade dos fósseis e o estrato geológico onde eles foram encontrados. Diante dessas limitações que Darwin já identificava nos registros fósseis, ele traria fragilidade à sua tese de ancestralidade comum e diversificação ao longo do tempo caso tentasse reconstruir a história das espécies desde os tempos ancestrais até o presente com base neles. Voltaremos a essa discussão mais adiante, quando refletirmos sobre os desenvolvimentos lógico-conceituais que permitiram que a classificação taxonômica clássica fosse reconfigurada em uma filogenia evolucionista.

A busca por explicações naturalistas para os fenômenos do mundo material possui uma história longa entre as civilizações ocidentais, que remonta à Antiguidade Clássica grega, cerca de 500 A.C:

Por volta de 500 a.C., uma nova forma de pensar começou a surgir entre os povos de língua grega do mundo mediterrâneo. Pela primeira vez na história humana (até onde sabemos), tentativas foram feitas para explicar a existência e o caráter do mundo em termos gerais e abstratos, em vez de fazer referência explícita a deuses ou espíritos. Sabemos muito pouco sobre esses primeiros ensaios de pensamento naturalista. As obras dos chamados "filósofos pré-socráticos", como Tales, Empédocles, Demócrito e Pitágoras, estão disponíveis para nós apenas através de fragmentos isolados ou relatos escritos muitas gerações depois. O que podemos afirmar com certeza é que a tradição que eles iniciaram culminou nas obras-primas filosóficas da Atenas Clássica, os escritos de Platão e Aristóteles, e que estes vieram a se tornar a fonte do pensamento ocidental moderno⁶⁹ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 20-21).

Embora as explicações sobrenaturais, sobretudo aquelas de base religiosa⁷⁰, tenham sido, em termos históricos, predominantes na concepção de mundo de maior parte da população da Idade Antiga, o pensamento naturalista exerceu uma influência significativa sobre grupos específicos da sociedade helênica, por exemplo, entre filósofos, pensadores e indivíduos letrados. Nesses grupos, essa influência naturalista foi duradoura, permanecendo candente até os primeiros séculos da Era Cristã, somente sendo coibida quando as cidades gregas foram subjugadas ao domínio político do Império Romano e a herança helênica progressivamente mitigada (AGUTTER; WHEATLEY, 2008).

Durante a Idade Média ocidental, após o fechamento definitivo das escolas pagãs e a destruição das bibliotecas de Alexandria, de Pérgamo e de outros reservatórios do conhecimento clássico, pouco espaço restaria, mesmo entre a elite letrada, para a difusão de um conhecimento de base naturalista (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 30-33). O que se sucedeu, portanto, foi que, durante cerca de um milênio, a estreita vinculação do pensamento

⁶⁹ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 20-21: "Around 500 BC, a novel way of thinking began to emerge among the Greek-speaking peoples of the Mediterranean world. For the first time in human history (as far as we know), attempts were made to explain the existence and character of the world in general, abstract terms rather than by explicit reference to deities or spirits. We know tantalisingly little about these first essays in naturalistic thought. The works of the so-called 'pre-Socratic philosophers' such as Thales, Empedocles, Democritus and Pythagoras are available to us only through isolated fragments or accounts written many generations later. What we can say for certain is that the tradition they initiated culminated in the philosophical masterpieces of Classical Athens, the writings of Plato and Aristotle, and that these were to become the fountainhead of modern western thought."

⁷⁰ Hermetismo, Neoplatonismo e Alquimia são exemplos de correntes de pensamento sobrenaturais que não fundamentam suas explicações, necessariamente, em cânones religiosos particulares. Disso decorre a adesão que elas receberam, ao longo da história, de indivíduos de diferentes matrizes religiosas, como judeus, cristãos, budistas, islâmicos, etc.

ocidental à concepção monoteísta de mundo, do qual o domínio da tradição escolástica é um vigoroso exemplo, permearam Deus largamente nas explicações dos fenômenos do mundo:

Hoje em dia, nós rejeitaríamos qualquer afirmação sobre o mundo natural que contrariasse as leis da física, conforme julgado pelos principais cientistas. Nove séculos atrás, nós teríamos rejeitado qualquer afirmação sobre o mundo natural que contrariasse a Bíblia e os escritos dos Padres da Igreja, conforme interpretados pelas autoridades eclesiásticas⁷¹ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 46).

Os escritos gregos e o pensamento naturalista neles contido, sem embargo, não desapareceram por completo durante a Idade Média, graças, em larga medida, à conservação e à tradução de obras da Antiguidade Clássica, sobretudo pelo Império Islâmico que dominou parte da Europa após a queda do Império Romano. Uma semente naturalista sobreviveria, portanto, o suficiente para ser ressemeada pela modernidade europeia:

A disseminação do Islã durante o século VII d.C. e depois foi fundamental para reunir esses clássicos dispersos e muito traduzidos [...] O impacto desse desenvolvimento na Europa medieval tem sido por vezes subestimado, mas foi decisivo. Devidamente apreciado, isso mostra que uma tradição contínua (ainda que bastante complexa) de pensamento conecta a ciência moderna à Atenas de Platão e Aristóteles - embora essa tradição somente tenha recuperado seu caráter inteiramente naturalista após o século XVI⁷² (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 36).

Por volta do século XII, sob influência do grande pensador islâmico Averróis (Ibn Rushd, em árabe, 1126-1198), iniciou-se, na Europa medieval, um processo de conciliação entre a doutrina religiosa e o pensamento filosófico baseado na razão. Para Averróis, ambos os caminhos seriam capazes de conduzir à verdade, ainda que com balizas distintas. Nessa conciliação, embora, em um sentido da relação, as conclusões alcançadas pela fé não estivessem submetidas às necessidades de teste e demonstração às quais deveriam se adequar as conclusões baseadas na razão, no outro sentido da relação, as explicações naturalistas deveriam, no entanto, serem consistentes com as crenças religiosas (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 44). A despeito dessas e de outras dissimilaridades metodológicas e nomológicas, com Averróis, explicações sobrenaturais e naturais deixavam, portanto, de serem mutuamente excludentes.

⁷¹ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.46: “*Nowadays, we would reject any claim about the natural world that contravened the laws of physics, as judged by leading scientists. Nine centuries ago we would have rejected any claim about the natural world that contravened the Bible and the writings of the Church Fathers, as interpreted by ecclesiastical authority*”.

⁷² Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 36: “*The spread of Islam during the 7th century AD and afterwards was instrumental in bringing together these scattered and much-translated classics [...] The impact of this development on mediaeval Europe has sometimes been underestimated, but it was decisive. Properly appreciated, it shows that a continuous (if rather convoluted) tradition of thought connects modern science to the Athens of Plato and Aristotle – though this tradition did not regain its wholly naturalistic character until after the 16th century*”.

Essa mudança de concepção de mundo, que favorecia uma atitude intelectual de conciliação, pavimentaria o caminho para o recrudescimento gradual do pensamento naturalista no mundo ocidental. A partir da Revolução Científica que se inicia em meados do século XVI, esse naturalismo viria a ser incorporado, em seu vigor pleno, às ciências modernas. Sob essa perspectiva conciliatória de mundo emerge uma perspectiva conciliatória de ciência, de tal sorte que pensadores como René Descartes exercitariam a razão ao extremo, produziriam explicações naturalistas efetivas, sem precisar, para isso, romper com suas convicções religiosas pessoais. Bem verdade, não somente Descartes guardou essa posição intelectual. No século XIX, o próprio Darwin, que realizou dois anos de estudo de medicina em Edimburgo e três anos de estudo de teologia no Christ's College de Cambridge, produzirá sua teoria nesse contexto (LAMBERT, 2010). Nesse sentido, aquiescemos com o entendimento majoritário na historiografia da biologia de que Darwin, independentemente de suas convicções religiosas, tinha o intuito de fazer naturalistas as explicações dos fenômenos do mundo vivo que ele investigava (ABRANTES, 2018; HULL; RUSE, 1998; SOBER, 1994;). Essa atitude naturalista espelhava aquela de Galileu Galilei, Isaac Newton e inúmeros outros expoentes das ciências empíricas que precederam Darwin, assim como a de cientistas contemporâneos a ele, como Charles Lyell e John Herschel, conforme nos recorda Charbonnat: “Uma vez instalado em Londres após a viagem a bordo do Beagle, Darwin se liga a Lyell e a outros sábios, como John F. W. Herschel (1792-1871), que consideravam que as entidades metafísicas não deveriam intervir nas explicações científicas”⁷³ (CHARBONNAT, 2009, p.3).

Com ideias como o uso e desuso e a transmissão dos caracteres adquiridos, correta ou erroneamente, naturalistas que precederam Darwin, entre eles Lamarck, propuseram explicações para as mudanças no mundo vivo cujos elementos causais são “puramente naturais”, no sentido de não teológicos. Isso conferiu um caráter materialista e científico adicional à explicação transformista lamareckiana, por exemplo. Como discutimos anteriormente neste capítulo, Darwin reconheceu a validade, ainda que relativizada, das noções de uso e desuso e da herança das características adquiridas pelos organismos ao longo de seu ciclo de vida. A decisão de Darwin de incluir esses conceitos como parte de sua explicação causal evolucionista, embora tenha com o tempo se mostrado equivocada em termos empíricos, é uma escolha que reforça, a nosso juízo, sua adesão a uma concepção de mundo naturalista.

⁷³ Traduzido de CHARBONNAT, 2009, p.3: “Une fois installé à Londres après le voyage à bord du Beagle, Darwin se lie à Lyell et à d’autres savants comme John F. W. Herschel (1792-1871) qui considèrent que les entités métaphysiques ne doivent pas intervenir dans les explications scientifiques”.

Em se tratando do princípio de hereditariedade, mencionamos acima, quando apresentamos a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, que Darwin reconheceu, na *Origem das espécies*, sua ignorância sobre as causas mais profundas da transmissão das características entre as gerações. O que não mencionamos ainda é que, nos anos subsequentes à publicação da *Origem*, Darwin não se contentou com essa lacuna. Em 1868, em seu livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação*, ele propôs uma teoria própria, sob bases naturalistas, com sua hipótese sobre as causas materiais da hereditariedade, intitulada Teoria da Pangênese (STANFORD, 2006).

A Teoria da Pangênese foi gestada por Darwin durante quase três décadas, tempo quase tão longo quanto sua Teoria da Evolução das espécies por Seleção Natural⁷⁴. Quando a Teoria da Pangênese foi apresentada, outras publicações tentando explicar as bases materiais da hereditariedade já estavam postas, entre elas a “Teoria das unidades fisiológicas”, de Herbert Spencer (1820-1903), a “Teoria da Hereditariedade”, de Francis Galton⁷⁵ (1822-1911), e os relatórios dos experimentos de Gregor Mendel (1822-1884), publicados em 1865 (BIZZO; EL-HANI, 2009; STANFORD, 2006, p. 124-125). Embora tivesse muito provavelmente conhecimento de teorias alternativas para o mecanismo de transmissão da hereditariedade, Darwin não se enveredou por esses caminhos. Para alguns pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, a elevada carga de trabalho antes e após a publicação de *A origem das espécies* justificaria o desengajamento de Darwin com outras possíveis explicações para o fenômeno da hereditariedade (FISHER, 1930, p. 2). A nosso juízo - menos condescendente -, Darwin atribuía a essas explicações pouca ou nenhuma importância face a sua Teoria da Pangênese. Concordamos, portanto, com Stanford (2006), que considera esse caso como sendo emblemático do “problema das alternativas não concebidas” (*problem of unconceived alternatives*, em língua inglesa) no desenvolvimento das ciências, em que teorias com bases

⁷⁴ Ao observar a emergência de algumas teorias tentando explicar o fenômeno da hereditariedade, Darwin menciona para Charles Lyell, em correspondência pessoal datada de 22 de agosto de 1867, o tempo que ele teria levado para formular a Teoria da Pangênese, algo entre 26 ou 27 anos até então. A Teoria da Pangênese somente seria enunciada no ano seguinte, quando Darwin publica *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação*. Disponível online em: <<https://www.darwinproject.ac.uk/letter/?docId=letters/DCP-LETT-5612.xml&query=pangenes%20lyell>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

⁷⁵ Sir Herbert Spencer e Sir Francis Galton fazem parte do conjunto de naturalistas da Era Vitoriana do Reino Unido cuja produção intelectual era eminentemente eugenista. Eles foram compensados com o título de cavaleiro, honraria atribuída a homens por suas conquistas e serviços prestados à Coroa britânica.

empíricas consistentes são desprezadas pelo *mainstream* científico⁷⁶. Para Darwin, sua teoria era mais completa e confiável que as demais alternativas, tendo ele assim a enunciado:

É universalmente admitido que as células ou unidades do corpo aumentam por auto-divisão ou proliferação, mantendo a mesma natureza, e que por fim se convertem nos vários tecidos e substâncias do corpo. Mas além desse meio de aumento, eu assumo que as unidades liberam grânulos minúsculos que são dispersos por todo o sistema; que esses grânulos, quando abastecidos com o nutriente adequado, se multiplicam por auto-divisão, e por fim se desenvolvem em unidades semelhantes àquelas de onde foram originalmente derivadas. Esses grânulos podem ser chamados de gêmulas. Eles são coletados de todas as partes do sistema para constituir os elementos sexuais, e seu desenvolvimento na próxima geração forma um novo ser; mas eles também são capazes de transmissão em estado dormente para gerações futuras e podem então se desenvolverem. Seu desenvolvimento depende de sua união com outras células parcialmente desenvolvidas ou nascentes que as precedem no curso regular de crescimento... Supõe-se que as gêmulas sejam liberadas por cada unidade, não apenas durante o estado adulto, mas durante cada estágio de desenvolvimento de todos os organismos; mas não necessariamente durante a existência contínua da mesma unidade. Por último, eu assumo que as gêmulas em seu estado dormente têm uma afinidade mútua entre si, levando à sua agregação em brotos ou nos elementos sexuais. Portanto, não são os órgãos reprodutivos ou brotos que geram novos organismos, mas as unidades das quais cada indivíduo é composto. Essas suposições constituem a hipótese provisória que chamei de Pangênese⁷⁷. (DARWIN, 2010, Vol.2, p. 457 apud STANFORD, 2006, 126)

A Teoria da Pangênese apresenta-se, a nossos olhos, conforme pode ser percebido pelo extrato acima, como uma especulação em que Darwin tentava unificar as explicações de fatos empíricos muito diversos, aparentemente desconexos, envolvendo a produção, a herança, o crescimento e o desenvolvimento de características por animais e plantas ao longo de diferentes gerações. Bem verdade, os naturalistas do século XIX tiveram muito de seu empirismo inspirado dos trabalhos dos microscopistas, tanto dos pioneiros, como Robert Hooke ((1635–1703), como de seus contemporâneos, como Joseph Jackson Lister (1786-1869). Essa era uma atividade que vinha se desenvolvendo exponencialmente desde o século XVII, sobretudo graças

⁷⁶ No caso particular dos relatórios de Mendel, Darwin não foi o único a não lhes atribuir importância. Os trabalhos de Mendel não provocaram repercussões significativas na *Royal Society*, na *Linnean Society* ou em outros centros de conhecimento da Europa quando foram publicados. Ver STANFORD, 2006, p. 125.

⁷⁷ Traduzido de DARWIN, 2010, Vol.2, p. 457. In: STANFORD, 2006, 126: “It is universally admitted that the cells or units of the body increase by self-division or proliferation, retaining the same nature, and that they ultimately become converted into the various tissues and substances of the body. But besides this means of increase I assume that the units throw off minute granules which are dispersed throughout the whole system; that these, when supplied with proper nutriment, multiply by self-division, and are ultimately developed into units like those from which they were originally derived. These granules may be called gemmules. They are collected from all parts of the system to constitute the sexual elements, and their development in the next generation forms a new being; but they are likewise capable of transmission in a dormant state to future generations and may then be developed. Their development depends on their union with other partially developed or nascent cells which precede them in the regular course of growth... Gemmules are supposed to be thrown off by every unit, not only during the adult state, but during each stage of development of every organism; but not necessarily during the continued existence of the same unit. Lastly, I assume that the gemmules in their dormant state have a mutual affinity for each other, leading to their aggregation into buds or into the sexual elements. Hence, it is not the reproductive organs or buds which generate new organisms, but the units of which each individual is composed. These assumptions constitute the provisional hypothesis which I have called Pangenesis”.

ao aprimoramento dos sistemas de lentes por optometristas neerlandeses (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 86). No entanto, Darwin não inferiu a existência de gêmulas a partir de observações microscópicas, análises químicas ou evidências empíricas direta ou indiretamente extraídas do ambiente tissular e celular que ele se dispunha a explicar. O que ele buscou foi deduzir, de forma hipotética, o funcionamento de um mecanismo causal microscópico a partir da expressão de características macroscópicas dos seres vivos. Dito isso, constatamos que, dado que o estabelecimento de mecanismos causais efetivos, em cadeias causais muito longas e que envolvem diferentes níveis de organização estrutural, é tarefa intelectual árdua, a ousadia intelectual de Darwin incorria, desde sua de origem, em riscos de equívocos. E as imprecisões se confirmariam ao longo da história. Avanços científicos posteriores, sobretudo no início do século XX, com o recrudescimento dos trabalhos de Gregor Mendel sobre a herança genética, conforme veremos futuramente, lançarão as luzes sobre o que é efetivamente objeto de herança aos descendentes e os mecanismos materiais de transmissão dessas características (BIZZO; EL-HANI, 2009; BIZZO, 2008). No entanto, a nosso juízo, a enunciação por Darwin de um conceito como o de “gêmulas” somente tornou-se possível mediante a adoção de um encadeamento racional que aceita, ainda que apenas tacitamente e de forma limitada, a premissa atomista das ciências físicas, crucial para o trabalho dos microscopistas, de que fenômenos do mundo macroscópico apreensível encontram parte de suas causas na dinâmica de organização e funcionamento de unidades da matéria não observáveis, dada suas reduzidas dimensões. Por isso, entendemos que a tentativa de Darwin de explicar o fenômeno da hereditariedade por meio do mecanismo descrito pela Teoria da Pangênese, ainda que não tenha se mostrado efetiva do ponto de vista empírico, ratifica, mais uma vez, o caráter naturalista de sua concepção de mundo e a influência de princípios das ciências empíricas sobre a teoria.

Prosseguindo na discussão sobre as influências naturalistas adicionais às quais Darwin estava submetido, observamos que o matemático e pensador naturalista britânico Baden Powell (1796-1860), no livro *Essays on the Unity of the World*, publicado em 1855, apenas alguns anos antes da grande obra de Darwin, trazia também uma argumentação que prescindia de Deus nas explicações dos fenômenos biológicos. Darwin, em seu prefácio à terceira edição da *Origens das Espécies*, publicada em 1861, ao traçar o “Esboço histórico do progresso da opinião anterior a esta obra”, refere-se a Powell da seguinte forma: “Nada é tão impressionante quanto a maneira como ele mostra que a introdução de novas espécies é ‘um fenômeno regular, não casual’ ou, nas palavras de Sir John Herschel, ‘uma contradição natural à ideia de um processo miraculoso’

” (DARWIN, 2018, p. 725). A atitude naturalista de Darwin manifesta-se, portanto, abertamente.

A despeito de nossa argumentação acima, em defesa da vinculação de Darwin ao naturalismo, devemos fazer uma ressalva neste momento, para mencionar que Darwin fez, sim, em algumas partes da *Origem das espécies*, referência a Deus. Quando discute as dificuldades de sua teoria (DARWIN, 2018, Capítulo VI), Darwin engaja-se em uma reflexão que culmina por justificar o refinamento do funcionamento de órgãos complexos, como o olho humano, aos poderes ilimitados do Criador:

A comparação entre o olho e o telescópio é praticamente inevitável. Sabemos que esse instrumento óptico foi aperfeiçoado pelos contínuos esforços dos intelectos humanos mais elevados e naturalmente inferimos que o olho teria sido formado por um processo de alguma maneira análogo. Mas não seria uma inferência presunçosa? Que direito temos de assumir que o Criador opera com poderes intelectuais como os do homem? [...] Devemos supor que haveria um poder supervisionando atentamente cada uma das mínimas alterações acidentais nas camadas transparentes, selecionando cuidadosamente cada alteração que, de algum modo ou em algum grau, nas mais variadas circunstâncias, tendesse a produzir uma imagem mais distinta. Devemos supor ainda que cada um dos estados do instrumento fosse multiplicado por um milhão, e cada um deles fosse preservado até que outro melhor fosse produzido, destruindo-se os antigos. Em corpos vivos, a variação causaria alterações mínimas, a geração as multiplicaria quase ao infinito e a seleção natural escolheria, com destreza infalível, cada aprimoramento. Que esse processo se desenrolasse por milhões e milhões de anos e, a cada ano, em milhões de indivíduos de diferentes gêneros, pergunto: não parece crível que se formasse assim um instrumento óptico vivo superior a outro, de vidro, como as obras do Criador são superiores às do homem? (DARWIN, 2018, p. 272)

Assim como Descartes atribuiu a Deus a responsabilidade de injetar no universo seu movimento inicial, derivando desse ato o princípio da conservação do movimento (DESCARTES, 2006), Darwin parece atribuir ao Criador, em um aventado ato constitutivo primordial, a criação do princípio da seleção natural⁷⁸. Uma vez estabelecido, o princípio de seleção natural operaria, continuamente, na condução da evolução natural, de forma análoga ao controle que um criador de rebanhos exerceria sobre a seleção artificial, embora numa escala de poder infinitamente superior. Não é possível excluir, contudo, que, assim como Newton, Darwin fosse adepto de uma concepção dinamista de natureza e de ciência, também vigente entre cientistas modernos, por meio da qual as leis naturais seriam manifestações contínuas e

⁷⁸ O encadeamento lógico que suporta especulações como as de Descartes e de Darwin aqui descritas encontra seu fundamento no argumento da causa primária (*first cause argument*, em língua inglesa). Trata-se de um argumento causal que defende a existência de Deus com base na ideia de que, se todas as coisas têm uma causa, não poderemos, sob o ponto de vista lógico, remontar essa sequência causal infinitamente, tampouco presumir a existência de uma causa “incausada” na ponta dessa cadeia. Na origem dessa cadeia causal estaria, portanto, uma causa primeira de todas as coisas, que encontra causa em si própria, que seria o Criador (HONDERICH, 2005). Para mais sobre o *first cause argument*, ver CRAIG, D.L., *The Cosmological Argument from Plato to Leibniz*, New York, 1981.

ordenadas do poder divino (ABRANTES, 2016, p. 127-128). A forma como Darwin conciliou sua teoria com a religião, qualquer que seja ela – seja como Descartes, seja como Newton –, não invalida nosso argumento de que o modelo explicativo evolucionista darwiniano é naturalista. Darwin não rejeita a possibilidade de conciliação de Deus com suas explicações, mas seus conceitos e suas explicações prescindem de Deus para serem estabelecidos. Não nos parece demasiado afirmar, portanto, que, com Darwin e sua concepção naturalista de mundo, a busca da materialidade das causas dos fenômenos biológicos consolida-se como o caminho intelectual a ser seguido por aqueles que almejassem encontrar uma explicação racional para o que ocorre no mundo orgânico (GREENE, 1959).

Ademais de determinar os fundamentos ontológicos, epistemológicos e metodológicos da nova teoria produzida por Darwin, o naturalismo exerceu uma importante influência na estrutura formal de apresentação da Teoria da Evolução por Seleção Natural na *Origem das Espécies*. Nesse aspecto, importa recordar que a forma de apresentação dos argumentos científicos e a linguagem com que é feita essa apresentação são, desde o início do desenvolvimento das ciências modernas até o presente, parte fulcral da metodologia científica (ABRANTES, 2014; APPOLINARIO, 2006). Em seu conjunto, essa estrutura formal compõe uma retórica que auxilia no poder de persuasão do argumento científico. A *Origem das Espécies* cumpre, com maestria, as etapas de apresentação de um trabalho científico rigoroso. Vejamos como Darwin organizou seu argumento.

Darwin apresenta, inicialmente, seu problema principal de investigação, “a origem das espécies – o mistério dos mistérios” (DARWIN, 2018, p. 39). Esse problema advém de uma inquietação que lhe teria sido incitada pela observação direta do mundo material, durante sua viagem a bordo do navio *HMS Beagle*, quando ele se sentiu “profundamente impressionado por certos fatos acerca da distribuição dos seres que habitam a América do Sul e das regiões geológicas entre os atuais e os antigos habitantes desse continente” (DARWIN, 2018, p. 39).

Para responder à questão-problema de como as espécies se originam, Darwin apresenta, de forma expressa e direta, sua hipótese, distinta das respostas mais aceitas pelos naturalistas da época. A tese de que as espécies não foram criadas independentemente, mas sim de que elas descenderam de outras espécies e mudaram ao longo do tempo, será antecipada desde a introdução do livro e enunciada, de forma mais detalhada, no Capítulo IV. Essa precisão na enunciação da tese principal de sua teoria é sucedida por apresentação coerente do objetivo principal da obra *Origem das Espécies*, qual seja, aquele de defender a ideia da origem comum

e da mudança das espécies ao longo do tempo. Os argumentos aos quais Darwin recorreu para demonstrar como essa tese pôde ser inferida a partir de fenômenos empiricamente apreensíveis serão apresentados sistematicamente: a variação das espécies ao longo das gerações (Capítulos I, II e VIII); as múltiplas semelhanças entre as características observáveis dos seres vivos (Capítulos VII e XIII); as relações embriológicas identificadas entre eles (Capítulo XIII); o padrão de distribuição geográfica das variedades de espécies (Capítulos XI e XII); e a sucessão geológica de seres vivos semelhantes ao longo do tempo (Capítulos IX e X).

Para apresentar sua tese, Darwin recorre, ainda, a um formato de discurso que, a nossos olhos, se assemelha à forma de uma conferência científica “canônica”. Expliquemos um pouco melhor o que queremos dizer com essa afirmação. No século XIX, o formato de conferência científica já era consolidado como um canal apropriado para a apresentação de teorias científicas novas. Ao falar diretamente a uma audiência especializada, com um grau de liberdade na argumentação e de flexibilidade no uso da linguagem maiores, esse formato contrasta com a rigidez normativa dos artigos científicos. As conferências científicas permitem, mesmo atualmente, que pensadores façam um apanhado de seus trabalhos – por vezes produzidos ao longo de décadas de estudos, como foi o caso de Darwin – em uma conversa franca com seu interlocutor. Ao lermos a *Origem das Espécies*, temos a impressão de que Darwin nos fala diretamente, excluindo qualquer intermediação que pudesse vir a distorcer a apresentação de sua tese. Em muitos momentos, o texto nos lembra a transcrição de uma conferência. A essa retórica de conferência científica, nós acrescentamos, quando aludimos a ela, o qualificador “canônico”, para que pudéssemos fazer referência à posição em que entendemos que Darwin se coloca nessa conversa com seus interlocutores. A nosso juízo, nessa conversa direta com a audiência, Darwin coloca-se em uma posição algo superior, em termos de hierarquia de conhecimento, à semelhança de um eclesiástico que, a partir de seu púlpito, profere um monólogo canônico. Nossa escolha pelo qualificante “canônico” tenciona, portanto, capturar o recurso retórico escolhido por Darwin, que, de forma velada, habilmente, usa sua autoridade de naturalista renomado, já célebre mesmo antes da *Origem das Espécies*, para dissuadir os leitores das novas ideias que a obra aportava.

Dando continuidade à defesa de sua tese evolucionista, Darwin buscou apresentar referências teóricas anteriores para dar sustentação à sua própria teoria, em atenção a um dos pré-requisitos da escrita científica, aquele de alicerçar um novo bloco de conceitos específicos em generalizações de base previamente validadas. Darwin apresenta, ainda, informações sobre a metodologia de realização das investigações empíricas que lhe serviram de fontes de

evidências, por meio da descrição de instrumentos e procedimentos de coleta da informação, quando ele próprio executou esses experimentos, ou da menção a como foram feitas as experiências por outras pessoas, sobretudo nos casos de domesticadores de animais (DARWIN, 2018, Capítulo I). No entanto, a despeito de citar algumas autoridades da época, como Jean-Baptiste de Lamarck, Charles Lyell, Joseph Dalton Hooker, Alphonse de Candolle, Asa Gray, Thomas Huxley, muitos dos quais Darwin se correspondia frequentemente por meio de cartas, julgamos importante destacar que *A Origem das Espécies* apresenta relativamente poucas referências bibliográficas se considerarmos o seu escopo e a pletora de ilustrações factuais que ela elenca. Darwin reconhece essa carência de citações, que entendemos ser uma limitação metodológica, e justifica a escassez de referências a naturalistas que o precederam por meio de uma defesa prévia, apresentada já na introdução de sua obra:

O presente resumo só pode ser imperfeito. Seria impossível oferecer todas as referências e autoridades que corroboram diversas de minhas afirmações, e, por isso, rogo ao leitor que tenha confiança em minha acuidade. Sem dúvida haverá erros, embora eu tenha me empenhado para me fiar apenas em boas autoridades. Apresentarei somente as conclusões gerais a que cheguei, com uns poucos fatos a ilustrá-las, que, espero, sejam suficientes. Ninguém mais sensível do que eu à necessidade de publicar em detalhes todos os fatos em que minhas conclusões foram baseadas, acompanhados pelas respectivas referências. Espero poder fazê-lo em uma obra futura [...] Lamento muito que a falta de espaço tenha me privado da satisfação de reconhecer a generosa assistência que recebi de muitos naturalistas, alguns dos quais não conheço pessoalmente. (DARWIN, 2018, p. 40-41).

Podemos, em nossos julgamentos pessoais, julgar plausíveis ou não as justificativas apresentadas por Darwin para a carência de referências a outros cientistas e pensadores. Independentemente do veredito, no entanto, entendemos que o fato de Darwin reconhecer a necessidade de apresentar citações desse tipo atesta, se não seu comprometimento irrestrito e incondicional, pelo menos uma preocupação razoável com as exigências metodológicas e formais requeridas por um discurso naturalista rigoroso.

Uma outra característica da escrita de Darwin são as longas e minuciosas descrições de suas investigações sobre os seres vivos, possivelmente até enfadonhas para leitores não familiarizados com disciplinas como a botânica e a taxonomia. A inspiração de Darwin para esse rigor descritivo pode ser também encontrada na retórica naturalista com que ele entrou em contato, sobretudo nas milimetricamente detalhadas descrições geológicas da época. O livro *Princípios de Geologia*, de Charles Lyell, atesta o quanto esse tipo de descrições faz parte do ofício de um geólogo. Com efeito, os primeiros escritos do próprio Darwin, após a viagem a

bordo do *HMS Beagle*, foram textos sobre geologia⁷⁹. Nas palavras de Sandra Herbert (1986, p.116), “Ele [Darwin] tende a ser visto atualmente como um biólogo, mas nos seus cinco anos no Beagle seu principal trabalho foi em geologia, e ele via a si próprio como um geólogo”⁸⁰. Darwin chegou, inclusive, a receber treinamento especializado em medições e descrições geológicas junto a um dos grandes geólogos de seu tempo, Adam Sedgwick (1785-1873):

E geologia séria foi o que Darwin aprendeu nos tutoriais práticos de Sedgwick, bem como habilidades que os livros nunca poderiam transmitir. O clinômetro foi útil, e Sedgwick verificou a precisão das medições de Darwin. Em menos de uma semana, ele aprendeu a identificar espécimes, interpretar estratos e generalizar a partir de suas observações. Foi o melhor curso intensivo em prática geológica, e Darwin mal deixou passar algum detalhe, desenvolvendo musculatura intelectual à medida que eliminava os excessos⁸¹ (DESMOND; MOORE, 1991, p. 75).

Indo mais profundamente nesse argumento, consideramos ser plausível especular que Darwin, ao teorizar sobre a evolução das espécies, entendesse estar prosseguindo seus trabalhos como geologista, afinal, seu mentor Lyell (2023, Livro 1, Capítulo1, p.1), na primeira frase de seu livro *Princípios de Geologia*, define o escopo de sua ciência com as seguintes palavras: “A geologia é a ciência que investiga as mudanças sucessivas que ocorreram nos reinos orgânicos e inorgânicos da natureza; ela investiga as causas dessas mudanças”⁸². Consideramos, portanto, que a vinculação de Darwin com a geologia e seus métodos produção de conhecimento científico exerceu influência, ademais de no conteúdo de suas teorias, também sobre a forma com que ele apresentou seus argumentos.

Essa sistematização da investigação e da apresentação das teorias científicas que viemos de sequenciar – determinação do problema, enunciação dos objetivos da investigação, levantamento de hipótese, descrição da metodologia e instrumentos de investigação, apresentação e discussão de resultados e conclusões, com adequada referenciação bibliográfica (ABRANTES, 2014; APPOLINARIO, 2006) – permite a enunciação, com precisão e rigor, de

⁷⁹ Ver, por exemplo, os seguintes textos de autoria de Darwin: “*Geological observations on the volcanic islands, visited during the voyage of HMS Beagle, together with some brief notices on the geology of Australia and the Cape of Good Hope*”; “*Geological observations on South America*”; “*On the geology of the Falkland Islands*”; e “*Origin of saliferous deposits: salt-lakes of Patagonia and La Plata*”.

⁸⁰ Traduzido de HERBERT, 1986, p.116: “*He [Darwin] tends to be viewed now as a biologist, but in his five years on the Beagle his main work was geology, and he saw himself as a geologist*”.

⁸¹ Traduzido de DESMOND; MOORE, 1991, p. 75: “*And serious geology was what Darwin learned in Sedgwick’s on-the-spot tutorials, as well as the skills that books could never impart. The clinometer came in handy, and Sedgwick checked the accuracy of Darwin’s measurements. In less than a week he learned how to identify specimens, interpret strata, and generalize from his observations. It was the best crash course in geological practice, and Darwin hardly missed a trick, developing intellectual muscle as he burnt off the flab*”.

⁸² Traduzido de LYELL, 2023, Livro 1, Capítulo1, p.1: “*Geology is the science which investigates the successive changes that have taken place in the organic and inorganic kingdoms of nature; it enquires into the causes of these changes*”.

explicações causais de fenômenos do mundo material, como a queda de um objeto na superfície da Terra, o movimento de rotação dos planetas em torno do Sol ou o aquecimento de um corpo frio por um corpo de mais alta temperatura. Com efeito, entendemos que a retórica naturalista visa a, em larga medida, construir um manual que descreve o passo a passo a ser percorrido pelo raciocínio para ir do problema às conclusões, um manual válido para a investigação do fenômeno no passado, no presente ou no futuro. Consideramos meritoso o fato de que Darwin tenha logrado êxito em utilizar essa retórica naturalista, que foi historicamente validada na apresentação de fenômenos atemporais ou recorrentes, para contar uma história, a história da evolução das espécies, um fenômeno de outra ordem. Na teoria darwiniana, os fenômenos da evolução são únicos no tempo e assumem um caráter unidirecional, o que implica que sua reconstrução somente pode ser feita de forma retrospectiva. Eles não são, portanto, atemporais e recorrentes, mas sim tempo-dependentes e únicos. Ainda que diante dessas divergências de ordem epistemológica e metodológica entre as diferentes ciências empíricas, julgamos que Darwin foi exitoso em sua aplicação do discurso naturalista no mundo orgânico. A opção de Darwin por uma retórica naturalista parece-nos ainda mais laudável quando consideramos que, ao fazê-lo, ele rejeitou a alternativa de retórica mais comumente adotada à época para contar as histórias do mundo natural, aquela das parábolas ao estilo de Santo Agostinho. Santo Agostinho foi o mais reverenciado dos pensadores da cristandade ocidental, sendo seu estilo de escrita ainda influente à época Darwin (AGUTTER; WHEATLEY, 2008). Agostinho “enxergava o mundo natural como um reservatório de parábolas para nossa instrução [...] A natureza deveria ser observada e estudada cuidadosamente, mas o objetivo não era a descrição objetiva; era encontrar lições morais pelas quais nossas vidas pudessem ser guiadas e melhoradas⁸³” (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.47). Entendemos que a escolha de Darwin, de apresentação de um argumento historiográfico com recurso a uma retórica naturalista, consagrada pelos cientistas que o precederam, aplicada com muita destreza, é um dos grandes trunfos da *Origem das Espécies*, fato que, a nosso juízo, contribui, de forma relevante, para a plausibilidade do argumento da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural⁸⁴.

⁸³ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.47: “*regarded the natural world as a reservoir of parables for our instruction [...] Nature was to be observed and studied carefully, but the aim was not objective description; it was to find moral lessons by which our lives could be guided and improved*”

⁸⁴ A estratégia darwiniana, de apresentação de argumento historiográfico por meio de uma retórica naturalista, parece ter exercido influência sobre a forma de apresentação de outras teorias cujo argumento é, essencialmente, historiográfico, a exemplo de muitas teorias políticas e econômicas, das quais podemos citar a teoria econômica estruturalista de Karl Marx, no século XIX, ou a Teoria Institucional das organizações, no século XX. Discussão adicional em torno dessa possível influência de Darwin sobre a narrativa historiográfica foge ao escopo deste trabalho, de modo que essa digressão tem por objetivo apenas para levantar possibilidades para reflexões futuras.

Cabe-nos agora uma ressalva. Não encontramos somente linguagem naturalista denotativa e rigorosa na *Origem das Espécies* – e nos textos de Darwin em geral. Quando em dificuldades para demonstrar seu argumento com evidências empíricas e discurso naturalista, Darwin, como hábil escritor⁸⁵ que era, permitia-se recorrer a metáforas e analogias para transpor as lacunas factuais. Inspirado em Lyell, ele recupera, figurativamente, as limitações das evidências representadas pelos registros fósseis:

De minha parte, prefiro adotar a metáfora de Lyell e ver, no registro geológico natural, uma história do mundo preservada imperfeitamente, escrita em um dialeto mutável; dessa história, temos apenas algumas partes do volume mais recente, que versam sobre duas ou três regiões; um ou outro capítulo esparso foi preservado e, em cada página, umas poucas linhas estão inteiras. Cada palavra da língua na qual essa história foi escrita se altera em maior ou menor medida na sucessão ininterrupta de capítulos e parece representar a modificação, aparentemente abrupta, de formas de vida sepultadas em formações consecutivas, porém separadas por lapsos consideráveis. Por esse ângulo, as dificuldades aqui discutidas diminuem muito, se é que não desaparecem (DARWIN, 2018, p. 415).

Como vimos anteriormente, é também por analogia que Darwin apresenta suas ideias sobre o princípio de seleção natural, em trechos da *Origem* como o que abaixo repetimos:

A esse princípio, pelo qual cada variação mínima é preservada contanto que seja útil, dei o nome de seleção natural, para diferenciá-lo do poder humano de seleção. Vimos que o homem é capaz, pela seleção, de produzir excelentes resultados e adaptar seres orgânicos a seus próprios usos mediante o acúmulo de variações mínimas, porém úteis. É um poder que ele recebeu das mãos da natureza. Mas a seleção natural, como veremos daqui por diante, é um poder sempre pronto a atuar e é tão imensuravelmente superior aos débeis esforços humanos quanto as obras da natureza são superiores às da arte (DARWIN, 2018, p. 118).

Nesse caso particular da analogia entre a seleção artificial e a seleção natural, Darwin não explicita a fonte de inspiração de seu argumento. Não deixamos de notar, contudo, a marcante semelhança dessa analogia com a analogia elaborada por Descartes para realçar a diferença entre o poder criativo da engenharia artificial e o poder criativo divino na produção de “máquinas” vivas (embora Darwin use a “natureza”, não “Deus” como referente de sua argumentação):

Aqueles que sabem quantos tipos de autômatos, ou máquinas em movimento, a habilidade humana pode construir com o uso de muito poucas peças, em comparação com a grande quantidade de ossos, músculos, nervos, artérias, veias e todas as outras partes que compõem o corpo de qualquer animal... considerarão este corpo [animal] como uma máquina que, tendo sido feita pelas mãos de Deus, é incomparavelmente melhor ordenada do que qualquer máquina que possa ser concebida pelo homem, e contém em si movimentos mais maravilhosos do que os de qualquer máquina feita

⁸⁵ A habilidade para a escrita não está, necessariamente, presente nos grandes pensadores. É o caso, por exemplo, de Immanuel Kant, cuja profundidade das reflexões contrasta-se frontalmente com uma escrita árida, por vezes até enigmática. Não é o caso, no entanto, de Darwin, cuja expressão escrita é clara, concisa e fluida.

pelo homem⁸⁶ (DESCARTES, 1985, *The philosophical writings of Descartes* apud DETLEFSEN, 2016, p. 147).

Vemos relógios, fontes artificiais, moinhos e outras máquinas semelhantes que, embora sejam feitas apenas por homens, têm o poder de se mover por conta própria de várias maneiras. E, como estou supondo que esta máquina [feita com a intenção explícita de ser o mais semelhante possível a nós] foi criada por Deus, acredito que você concordará que ela é capaz de uma variedade maior de movimentos do que eu poderia imaginar nela, e que demonstra uma engenhosidade maior do que eu poderia possivelmente lhe atribuir⁸⁷ (DESCARTES, 1985, *The philosophical writings of Descartes* apud DETLEFSEN, 2016, p. 147).

O uso de metáforas e analogias, seja no discurso darwiniano em particular, seja na argumentação científica em geral, não implica, necessariamente, que a proposição de fundo não seja logicamente válida ou empiricamente efetiva (ABRANTES, 2014). No entanto, esse uso de metáforas e analogias por Darwin não pode ser um elemento desprezado quando refletimos sobre a validade e a efetividade dos conceitos evolucionistas. Assumi-las como fontes primeiras de concretude, ou seja, como literais, implica incorrer no risco de alcançar conclusões falaciosas, por “misplaced concreteness”, decorrente de uma confusão entre o elemento abstrato que compõe a analogia e o elemento concreto que serve de referente material para a afirmação (WHITEHEAD, 1925). Decerto, Darwin não nos induz, necessariamente, a conclusões falaciosas, forçando-nos, deliberadamente, a fazer uma confusão entre o abstrato e o concreto. Ele não nos alerta, todavia, que podemos incorrer, inadvertidamente, nesse tipo de acidente lógico, caso negligenciemos que algumas de suas ideias são apresentadas ou exemplificadas por meio de metáforas e analogias (associações de referentes abstratos extraídos de outras associações), não de forma literal (associações com referentes materiais concretos). Darwin não nos adverte, tampouco, que múltiplas interpretações são possíveis para argumentos elaborados com base em uma linguagem conotativa. Há um componente de subjetividade na interpretação da linguagem conotativa que abre margem para ambiguidades interpretativas dos argumentos assim construídos (EAGLETON, 2006). Ao não nos advertir desse risco, Darwin nos liberta, ainda que não o faça de forma expressa, para interpretarmos as metáforas com base em nossas

⁸⁶ Traduzido de DESCARTES, 1985, *The philosophical writings of Descartes* apud DETLEFSEN, 2016, p. 147 : “Those who know how many kinds of automata, or moving machines, the skill of man can construct with the use of very few parts, in comparison with the great multitude of bones, muscles, nerves, arteries, veins and all the other parts that are in the body of any animal.... will regard this [animal] body as a machine which, having been made by the hands of God, is incomparably better ordered than any machine that can be devised by man, and contains in itself movements more wonderful than those in any machine made by man”.

⁸⁷ Traduzido de DESCARTES, 1985, *The philosophical writings of Descartes* apud DETLEFSEN, 2016, p. 147: “We see clocks, artificial fountains, mills, and other similar machines, which, even though they are only made by men, have the power to move of their own accord in various ways. And, as I am supposing that this machine [made with the explicit intention of being as much like us as possible] is made by God, I think you will agree that it is capable of a greater variety of movements than I could possibly imagine in it, and that it exhibits a greater ingenuity than I could possibly ascribe to it”.

próprias experiências e associações de sentido. Essa multiplicidade de interpretações das analogias é um desafio para o rigor e a precisão requeridos pelo discurso científico. Apesar dessas potenciais vulnerabilidades, de ordem lógica e epistemológica, associadas às conclusões alcançadas por analogias e linguagem metafórica, entendemos que o uso desses recursos retóricos por Darwin favoreceu, de uma forma geral, o poder explicativo e a plausibilidade da tese evolucionista, pois ele pôde se beneficiar do forte poder imagético das ilustrações que com esses recursos ele criou.

À guisa de conclusão desta seção, recordamos que o naturalismo que funda as ciências modernas está alicerçado sobre as premissas de que o universo material, aquele que é apreensível pelos sentidos, diretamente ou por meio de instrumentos, apresenta regularidades e de que essas regularidades podem ser compreendidas pela mente humana, conforme discutimos em nosso capítulo introdutório (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.4). Assumimos aqui ser a concepção de mundo de Darwin naturalista, o que faz dele, logo, um adepto dessas premissas. Entendemos que essa atitude de Darwin contribuiu para fincar, de forma definitiva, os fundamentos de validade e verdade das explicações evolucionistas no mundo material, exclusivamente. Assim sendo, avançaremos no entendimento de que a tese evolucionista de Darwin foi construída trilhando um caminho epistemológico consagrado por cientistas que o precederam, como Galileu e Newton, e ratificado por seus contemporâneos, como Lyell, aquele de combinar evidências empíricas com leis gerais, para inferir conclusões generalizantes, afinal, “filosofia natural (ciência) requer ao mesmo tempo evidências oriundas dos sentidos e raciocínio a partir de princípios gerais”⁸⁸ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.83). Importar-nos-á agora entender, portanto, como Darwin abordou esses dois pré-requisitos epistemológicos oriundos das ciências modernas, ou seja, como ele recolheu suas “evidências oriundas dos sentidos” (bases empiristas) e como ele aplicou seu “raciocínio a partir de princípios gerais” (bases nomológicas).

⁸⁸ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.83: “*natural philosophy (science) requires both the evidence of the senses and reasoning from general principles*”.

2.4.c O empirismo de Darwin

A valorização do método indutivo era uma característica marcante dos naturalistas britânicos da Era Vitoriana⁸⁹, período histórico em que Darwin viveu e produziu sua obra: “apenas quando havia evidências abundantes é que conclusões tentativas poderiam ser propostas, com generalizações precisando de serem baseadas em um largo número de casos particulares. Raciocínio confiável em filosofia natural era, portanto, indutivo (do particular para o geral)”⁹⁰ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.83). A leitura⁹¹ dos relatos de Darwin a respeito de seus trabalhos a bordo do navio *HMS Beagle* e de suas correspondências com amigos mais próximos, como Charles Lyell e Asa Gray, não nos deixa dúvidas de que essa preocupação em coletar fatos empíricos, que viessem a corroborar ideias abstratas, já estava presente no jovem Darwin. Essa não era, portanto, característica exclusiva da argumentação de Darwin na *Origem das espécies* ou nos demais escritos do Darwin maduro. É ilustrativo desse ímpeto de Darwin pelo empirismo o auxílio que ele prestou aos trabalhos de um dos seus mais influentes mentores da juventude, o zoólogo britânico Robert Edmond Grant (1793-1874):

Grant apontou o que procurar, e Darwin preencheu um caderno em março e abril de 1827 com observações sobre as larvas de moluscos e tapetes marinhos, e as penas-do-mar pedunculadas. Ele estava fascinado. Essas criaturas eram muito primitivas; argumentos até surgiram sobre se as esponjas eram animais ou plantas. Com a ajuda de Darwin, Grant estava mostrando que elas estavam próximas à raiz do reino animal, e ele acreditava que elas continham pistas sobre os fundamentos comuns de toda a vida [...] Darwin, absorvendo tudo, começou a fazer observações originais por conta própria, e a primeira delas foi anunciada em outro dos anais estudantis - a Sociedade de História Natural Werneriana⁹² (DESMOND; MOORE, 1991, p. 34).

Quando explicávamos, algumas seções acima, como Darwin havia alcançado a generalização de que os indivíduos de uma mesma população são diferentes uns dos outros

⁸⁹ A Era Vitoriana é o período histórico que compreende o reinado da Rainha Victoria, no Reino Unido, entre 1837 e 1901. Foram cerca de seis décadas, caracterizadas por grande prosperidade econômica e desenvolvimento científico e cultural da sociedade britânica. Para maior aprofundamento sobre a ciência na Era Vitoriana, ver ENDERSBY, Jim. *Imperial nature: Joseph Hooker and the practices of Victorian science*. University of Chicago Press, 2020.

⁹⁰ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.83: “Only when there was copious evidence could tentative conclusions be drawn with generalizations needing to be based on large numbers of particular instances. Reliable reasoning in natural philosophy was therefore inductive (from the particular to the general)”.

⁹¹ Para conhecimento de uma extensa e preciosa série de relatos, cartas, rascunhos de artigos, notas preliminares de livros, diagramas e desenhos de Darwin, ver o sítio eletrônico do “Darwin Correspondence Project”, um repositório de documentos do autor, mantido pela Universidade de Cambridge, de acesso gratuito no seguinte endereço: <<https://www.darwinproject.ac.uk>>.

⁹² Traduzido de DESMOND; MOORE, 1991, p. 34: “Grant pointed out what to look for, and Darwin filled a notebook in March and April 1827 with observations on the larvae of molluscs and sea-mats, and the stalked sea-pens. He was fascinated. These creatures were very primitive; arguments even flared over whether sponges were animals or plants. With Darwin’s help, Grant was showing that they lay close to the root of the animal kingdom, and he believed that they held clues to the common foundations of all life [...] Darwin, drinking it all in, began to make original observations himself, and the first of these was announced at another of the student bodies – the Wernerian Natural History Society”.

(variação populacional), antecipamos que ele havia recorrido a evidências empíricas advindas de suas próprias observações da vida selvagem e das observações feitas por agricultores e por criadores de animais em condições de domesticação, apresentadas sobretudo no Capítulo I – Variação sob domesticação – e no Capítulo II – Variação na natureza da *Origem das espécies* (DARWIN, 2018). Sendo mais rigoroso agora, na análise dos métodos de indução de Darwin, do que o que fomos quando apresentamos sumariamente seus conceitos, cabe-nos aqui distinguir que a observação da vida selvagem difere da observação da vida em cativeiro, pois, neste segundo caso, a intervenção humana, prévia e durante a observação, no controle das variáveis aproxima, em alguma medida, ainda que reduzida, a situação empírica de uma experimentação.

Darwin era um observador meticuloso, conforme ressaltamos acima, quando mencionamos a formação intelectual e o treinamento que ele recebeu em geologia e taxonomia (DESMOND; MOORE, 1991). Suas observações de plantas e animais em condições de vida selvagem foram realizadas, em larga medida, durante suas viagens exploratórias a terras distantes da Inglaterra, como a excursão a bordo do navio *HMS Beagle*. Mesmo após deixar de participar desse tipo de excursões, Darwin continuou seu trabalho de pesquisa na mesma linha, tendo criado alternativas para continuar colhendo evidências empíricas para suas inferências. Para colher evidências sobre o processo de seleção natural das plantas, por exemplo, Darwin realizou observações e descreveu fenômenos que ele presenciou em orquidários e, até mesmo, no jardim de sua casa:

Que o clima atua principalmente de maneira indireta favorecendo outras espécies é algo que se vê claramente pelo prodigioso número de plantas em nosso jardim que são capazes de suportar o clima, mas que, no entanto, jamais se naturalizam, pois não poderiam competir com as plantas nativas nem tampouco resistir à destruição pelos animais nativos (DARWIN, 2018, p. 127).

Outro meio de se observarem os efeitos cumulativos da seleção nas plantas é comparar a riqueza das flores nas diferentes variedades de uma mesma espécie de planta de jardim, ou de folhas, vagens, tubérculos ou qualquer outra parte, a outras plantas da mesma variedade, ou a diversidade de frutos de uma mesma espécie de orquidário às folhas e flores da mesma variedade. Como são diferentes as folhas de repolho, e como são similares as suas flores! [...] Como regra geral, porém, não duvido que a seleção contínua de pequenas variações nas flores, nas folhas ou nos frutos produza raças diferentes, principalmente em relação a esses caracteres (DARWIN, 2018, p. 79).

O espectro dos fenômenos a servirem de objeto da observação atenta de Darwin sobre a sobrevivência das plantas foi por ele ampliado ainda mais, por meio de experimentos que ele realizava nesses seus ambientes laboratoriais adaptados, cujos exemplos são igualmente abundantes na *Origem das espécies*:

[...] em muitos casos é indispensável à preservação de uma espécie que haja uma reserva de indivíduos proporcionalmente maior que a de seus inimigos. Isso explica por que conseguimos cultivar milho e outras sementes em nossos campos, pois o número de sementes excede em muito o de pássaros que delas se alimentam. Apesar dessa abundância sazonal de alimento, os pássaros não aumentam em número proporcional ao suprimento de sementes, pois sua população cai durante o inverno. Por outro lado, qualquer um que tenha tentado semear trigo e outras plantas similares em um jardim sabe como é difícil fazê-lo. De minha parte, posso dizer que perdi todas as sementes que plantei (DARWIN, 2018, p. 128).

Ao longo de dois meses, colhi em meu jardim sementes de doze espécies extraídas dos excrementos de pássaros de pequeno porte e elas me pareceram perfeitas; algumas delas com as quais realizei experimentos chegaram a germinar. Mais importante ainda é o fato de as carcaças de pássaros não secretarem suco gástrico, o que garante, e isto eu sei por experiência, que a germinação das sementes não será prejudicada (DARWIN, 2018, p. 481).

Alguns gaviões e corujas engolem suas presas inteiras e, após um intervalo de doze a vinte horas, expelem pelotas de alimento não digerido, que, como mostram experimentos por mim realizados no Jardim Zoológico, incluem sementes suscetíveis de germinação. Algumas sementes de aveia, trigo, milhete, capuchinha, cânhamo, trevo e beterraba germinaram após terem permanecido entre doze e 21 horas nos estômagos de aves de rapina; duas sementes de beterraba, inclusive, germinaram após terem sido retidas por dois dias e catorze horas. Pude observar que peixes de água doce se alimentam de sementes de diferentes plantas, aquáticas ou secas. Não raro, tais peixes são devorados por pássaros, o que permite que as sementes sejam transportadas de um lugar para outro. Introduzi diferentes espécies de semente no estômago de diversos peixes mortos e então dei suas carcaças a águias pescadoras, cegonhas e pelicanos. Após um intervalo de horas, os pássaros ou expeliram as sementes em pelotas de alimento não digerido ou em seus excrementos, e muitas delas mantiveram os poderes de germinação. Certas espécies de semente, contudo, não resistiram ao processo (DARWIN, 2018, p. 482).

Em se tratando das experimentações com animais, Darwin recorreu, sobretudo, às intervenções feitas por outros indivíduos, domesticadores de animais em cujas conclusões ele confiava⁹³. No exercício de seu empirismo, Darwin permitiu-se criar, inclusive, situações hipotéticas, na linha das experiências de pensamento de Galileu, construídas em verossimilhança às suas observações da natureza:

Para deixar claro como a seleção natural atua do modo como acredito que o faça, peço licença para oferecer uma ou duas ilustrações hipotéticas. Tomemos um lobo que se alimenta de vários animais, capturando alguns com astúcia, outros com força, outros ainda com agilidade, e suponhamos que, devido a uma mudança na região em que ele vive, o número de uma de suas presas tenha aumentado, que seja a mais ágil delas, como um cervo, por exemplo, e que a população de outra de suas vítimas tenha decrescido na época do ano em que ele mais precisa de alimento. Em tais circunstâncias, parece-me plausível que os lobos mais ágeis e mais esguios teriam mais chance de sobreviver e, assim, de serem preservados e selecionados, desde que guardassem força suficiente para capturar suas presas em qualquer época do ano (DARWIN, 2018, p. 154).

⁹³Podemos supor que talvez houvesse maiores dificuldades logísticas para a realização, pelo próprio Darwin, de experiências de domesticação de rebanhos em seus “laboratórios caseiros”, dado que ele residiu maior parte de sua vida em Londres (DESMOND; MOORE, 1991)

Diante do exposto, constatamos, portanto, que Darwin utilizou, em seus trabalhos, em alinhamento aos pressupostos de produção científica moderna, evidências oriundas de uma ampla gama de métodos empíricos: observação pura e simples da vida selvagem; observação de fenômenos biológicos em condições artificialmente modificadas; experiências de pensamento com plantas e animais; experimentação com plantas em jardins e orquidários; e experimentação com animais em domesticação. Como resultado desse empirismo, Darwin elencou uma pletora de exemplos empíricos, espalhados por toda a *Origem das espécies*, o que assemelhará o livro, por vezes, a um catálogo de fatos biológicos. Apesar dessa abundância que podemos constatar de exemplos factuais, Darwin ainda menciona, em mais de uma passagem do livro, que teria reservado outros fatos empíricos para obras futuras⁹⁴:

“Apresentarei somente as conclusões gerais a que cheguei, com uns poucos fatos a ilustrá-las, que, espero, sejam suficientes. Ninguém mais sensível do que eu à necessidade de publicar em detalhes todos os fatos em que minhas conclusões foram baseadas, acompanhados pelas respectivas referências. Espero poder fazê-lo em uma obra futura” (DARWIN, 2018, p.40)

O recurso ao empirismo para fundamentar explicações causais não assegura, imediata e necessariamente, a validade e a efetividade das conclusões por esse caminho obtidas. Em um primeiro aspecto, a confiabilidade das evidências obtidas é dependente do rigor metodológico na realização das observações e das experimentações. Como um segundo aspecto, a validade das conclusões é, por sua vez, dependente do rigor lógico das inferências realizadas a partir das evidências obtidas. Entendemos que, para as inferências e conclusões sobre o fenômeno evolutivo alcançadas por Darwin a partir de suas observações e experimentações, essas exigências devem ser igualmente aplicáveis. Refletiremos, portanto, nas próximas linhas, sobre algumas das consequências dos métodos empíricos aplicados por Darwin no poder explicativo dos principais conceitos que ele enunciou.

Nosso ponto de partida é o reconhecimento de que, sim, Darwin buscou recorrer ao empirismo para fundamentar todos os seis conceitos-chave com que estamos trabalhando – ancestralidade comum, mudança ao longo do tempo, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação. Uma leitura atenta da *Origem das espécies* nos permite constatar, no entanto, que o uso dos diferentes métodos empíricos com que ele trabalhou para assegurar o poder explicativo desses conceitos não foi homogêneo. Dito de outra forma, Darwin utilizou alguns métodos empíricos para fundamentar alguns conceitos-chave, outros métodos empíricos

⁹⁴ Uma dessas obras futuras viria a ser a *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação*, publicada em 1868, na qual ele apresenta, em meio a uma nova gama de ilustrações factuais, a Teoria da Pangênese, conforme comentamos anteriormente.

para fundamentar outros desses conceitos, o que implicará, a nosso juízo, um grau variado de validade e efetividade esperadas para as conclusões obtidas.

Começemos nossa reflexão pelos conceitos de ancestralidade comum e mudança das espécies ao longo do tempo. Para assegurar a efetividade desses dois pilares do evolucionismo, Darwin recorreu, sobretudo, a uma categorização taxonômica detalhada e abrangente das espécies, elaborada a partir de suas observações minuciosas dos seres vivos em condições de vida selvagem. Com efeito, não deixa de nos impressionar, mesmo nos dias atuais, o quão refinada e rigorosa é a categorização taxonômica darwiniana. A “árvore da vida” de Darwin, um modelo que sistematiza o quebra-cabeças de evidências empíricas em uma categorização taxonômica, sintetiza, com forte poder imagético, esses dois princípios estruturantes de sua teoria: no tronco da árvore, o ancestral comum das espécies; nas extremidades de seus galhos, o estágio atual das múltiplas espécies, após os anos de mudanças e diversificação. Aproveitando-se dessa imagem da árvore da vida, Darwin assim sumariza – com a linguagem metafórica e com o discurso pujante que lhe caracterizam – as conclusões a que se pode alcançar com sua categorização taxonômica:

As afinidades entre os seres de uma mesma classe foram por vezes representadas por uma grande árvore. Parece-me, no fundo, um símile verdadeiro. Os jovens ramos verdejantes poderiam representar as espécies existentes; os mais antigos, a longa sucessão de espécies extintas. Em cada período de crescimento, cada um dos ramos se empenha em brotar a partir do tronco, por todos os lados, sobrepondo-se aos ramos e galhos vizinhos e os matando, da mesma maneira como as espécies e os grupos de espécies tentam dominar outras espécies na grande batalha pela vida. Os membros divididos em grandes galhos, e estes em galhos sucessivamente menores, foram um dia, quando a árvore era pequena, jovens ramos; e essa conexão entre os antigos jovens ramos e os atuais, por ramos ramificados, poderia representar a classificação de todas as espécies extintas e existentes em grupos subordinados a grupos. Dos muitos ramos que floresceram quando a árvore era apenas um arbusto, apenas dois ou três, que hoje são espessos galhos, sobreviveram e sustentam os outros galhos, da mesma maneira como, entre as espécies que viveram em períodos geológicos longínquos, pouquíssimas têm atualmente descendentes vivos modificados. Desde que a árvore começou a crescer, muitos membros e galhos caíram ou se desprenderam, e esses galhos perdidos, de variados tamanhos, poderiam representar ordens inteiras, famílias e gêneros que não têm mais nenhum representante vivo e cuja existência é informada a nós mediante vestígios em estado fóssil. E assim como vemos, vez por outra, um galho fino isolado, que nasceu a partir de uma bifurcação situada na parte baixa da árvore e que, por um acaso, foi favorecido e ainda vive em sua cúpula, também encontramos, ocasionalmente, um animal como o ornitorrinco ou a piramboia, que, por suas afinidades, conecta, em algum grau tênue, dois grandes galhos da vida e que parece ter escapado à ação fatal dos rivais por habitar um local ermo. Assim como ramos geram, por crescimento, novos ramos, e estes, se forem vigorosos, ramificam e se impõem, por todos os lados, a ramos mais fracos, do mesmo modo ocorre, graças à geração, na Árvore da Vida, que com seus galhos mortos e partidos preenche as camadas da terra e com suas verdejantes e belas ramificações recobre a sua superfície (DARWIN, 2018, p. 200-201).

Um dos mais importantes cursos de ação dos estudos evolutivos posteriores à *Origem das espécies* será guiado pela busca de evidências empíricas adicionais que confirmem a taxonomia que suporta os princípios de ancestralidade comum e de mudança das espécies ao longo do tempo, conforme veremos em detalhes adiante, quando discutirmos a Síntese Evolutiva Moderna. Neste momento, importa apenas antecipar que, com Darwin, categorizações taxonômicas coerentes, suportadas por ilustrações empíricas abundantes, tornar-se-iam indicativos do fenômeno da evolução com valor de evidência demonstrativa (Huxley, 1888, Lecture III). Entendemos, no entanto, que incorreríamos em uma conclusão precipitada se supuséssemos que o êxito de Darwin na validação empírica da ancestralidade comum e da mudança ao longo do tempo implicaria, necessariamente, uma validação empírica imediata e consequente dos demais conceitos-chave. Assim sendo, continuaremos a analisar, casuisticamente, a fundamentação empírica dos demais conceitos darwinianos.

No que concerne ao conceito de variação populacional, conforme discutimos algumas seções acima, Darwin recorreu a observações da vida selvagem, de organismos vivos em seus laboratórios adaptados (jardins, orquidários, etc.) e de animais em domesticação, para inferir que não há dois indivíduos exatamente iguais numa mesma população. Entendemos que a aplicação do método de indução por enumeração simples habilitaria Darwin a alcançar essa inferência. Conforme discutimos no Capítulo 1, o método de indução por enumeração, aplicado nas explicações causais desde, pelo menos, os trabalhos de Aristóteles, trata-se, bem verdade, da mais pura e simples generalização: os padrões de regularidade ou associações identificados a partir da observação de alguns exemplares de um determinado fenômeno são generalizados para os demais fenômenos similares. Para refutar a inferência de Darwin, de que a variação dos indivíduos é uma regra para todas as populações de animais, bastaria encontrarmos dois animais exatamente iguais numa mesma população. Desde a época de Darwin até o presente momento, não foi possível refutar, com casos empíricos, tal generalização⁹⁵. Em outros termos, o “cisne negro” que invalidaria a afirmação de Darwin sobre a ubiquidade da variação populacional entre os animais jamais foi encontrado, de modo que podemos afirmar que essa inferência permanece válida.

Em se tratando do princípio de hereditariedade, mencionamos algumas seções acima que Darwin desconhecia as bases materiais de transmissão das características entre as gerações. Sua principal tentativa de fundamentar esse princípio, a Teoria da Pangênese, tratava-se, bem

⁹⁵ Excetua-se, por óbvio, os casos particulares de gêmeos monozigóticos, clones perfeitos ou casos afins, cuja uniformidade das características é explicada por fenômenos excepcionais de fecundação.

verdade, de uma especulação imaginativa sobre a existência de um mecanismo causal que explicaria a reprodução segmentada de cada uma das partes de um organismo, em vez do organismo como um todo. Isso não implica, contudo, que o princípio da hereditariedade, conforme originalmente enunciado por Darwin, estava totalmente desprovido de bases empíricas. Observações da vida selvagem, de organismos vivos em laboratórios adaptados (jardins, orquidários, etc.) e de animais em domesticação também permitiram a Darwin inferir que “o semelhante produz o semelhante” e que seria “melhor tomar a hereditariedade de todo e qualquer caractere como a regra e o seu contrário, como a anomalia”. (DARWIN, 2018, p.55). Destarte, a hereditariedade é, em Darwin, a nosso juízo, um princípio que acoberta sua ignorância sobre os mecanismos mais profundos que explicam a permanência das características nas proles, mas que ocupa um espaço importante dentro do encadeamento lógico coerente que sustenta sua teoria. O princípio da hereditariedade nos parece assumir, por isso, uma natureza eminentemente operativa, pois, embora careça de detalhamento mais profundo, o conceito opera, engenhosamente, como uma ponte⁹⁶ que permitiu a Darwin saltar sua lacuna de conhecimento e avançar seu modelo explicativo causal para a próxima etapa, aquela de tentar explicar porque as características dos indivíduos são selecionadas e perpetuadas entre as gerações.

No que concerne aos conceitos de seleção natural e adaptação, a principal fonte de evidências empíricas para Darwin são os experimentos realizados por agricultores e criadores de animais, conforme mencionamos algumas seções acima. Tomemos como base para nossa reflexão sobre esses conceitos a premissa de que “fazer experimentos significa reproduzir fenômenos em condições de rigoroso controle das variáveis, com o objetivo de identificar os fatores antecedentes responsáveis por determinado evento subsequente” (RUIZ, 1996, p.55).

⁹⁶ A história das ciências e da matemática nos mostra que, quando confrontados com problemas que não conseguem resolver com as ferramentas intelectuais de que dispõem em um determinado momento, pensadores engenhosos recorrem a conceitos operativos. Esses conceitos operativos, embora, por vezes, não sejam intuitivos ou careçam inicialmente de precisão, são úteis para transpor lacunas de conhecimento. Tomemos da matemática o exemplo dos números imaginários (ver NIKOURAVAN, 2019). Quando os problemas culminam em uma equação com um número negativo sob um radical com um índice par, eles não têm, *a priori*, soluções com os números reais. Os números imaginários foram concebidos para tornar a resolução desses problemas possíveis, ou, ao menos, mais fáceis. Os números imaginários, contudo, não são concebíveis pelos nossos sentidos. É possível, intuitivamente, conceber quantidades com números reais positivos (1, 2, 3, etc.), mas não com números negativos, tampouco com números imaginários. No entanto, os números imaginários complementam nosso sistema numérico, servem como uma ponte para transpor o beco sem saída em que nos encontramos com determinadas equações matemáticas e ajudam a encontrar soluções para problemas aparentemente insolúveis.

Ao cabo dos experimentos, o investigador deve ser capaz de aplicar o método indutivo de concordância e diferença com rigor e precisão. Os experimentos de domesticação de animais que Darwin utilizou como fonte de evidências foram realizados, no entanto, com uso de metodologias heterogêneas. Eles não foram, em geral, fruto de pesquisas rigorosas, realizadas por cientistas, com o objetivo de alcançar conhecimento específico sobre os fenômenos biológicos. Eles foram, em muitos casos, intervenções práticas aplicadas no exercício de uma atividade econômica ordinária, desempenhada por profissionais com formações variadas, de pecuaristas a criadores de equinos. É verdade que alguns dos indivíduos a quem Darwin recorreu eram considerados por ele autoridades em seu *métier* profissional, a exemplo do “Sir John Sebright, esse exímio criador de pombos, costumava se gabar: ‘Em três anos sou capaz de produzir qualquer tipo de pena; me deem seis e produzirei cabeças e bicos’ ” (DARWIN, 2018, p. 77). No entanto, isso não implica dizer que, ao realizar as intervenções em seus rebanhos ou plantações, eles tivessem em mente que “o grande objetivo da experimentação, ou seja, sua razão de ser, é descobrir qual ou quais das variáveis independentes são causadoras de determinado evento” (RUIZ, 1996, p.55). A nosso juízo, destarte, o rigor metodológico dos experimentos de domesticação de animais que subsidiaram as inferências de Darwin é, portanto, questionável. O próprio Darwin põe em xeque, em alguns momentos, a confiabilidade da metodologia empregada na realização desses experimentos “caseiros”:

Girou de Buzareingues cruzou três variedades de abóbora, que, como as de milho, tinham sexos separados, e garante que sua fertilização mútua é bem mais dificultosa quanto maiores forem as diferenças entre elas. Não sei ao certo se esses experimentos são confiáveis ou não; mas as formas utilizadas são classificadas como variedades por Sagaret, que baseia essa escolha principalmente em testes de infertilidade [...] Observações que eu mesmo realizei com certas variedades de hibisco rosa inclinam-me a pensar que elas apresentam fatos análogos (DARWIN, 2018, p. 370).

Apesar de reconhecer essas limitações metodológicas, Darwin não refuta, em nenhum momento, nem na *Origem das espécies* nem em seus escritos posteriores, as conclusões advindas desses experimentos. Muito pelo contrário. Darwin produzirá um livro inteiro sobre o assunto, em dois longos volumes totalizando mais de 800 páginas, intitulado *A variação de animais e plantas sob domesticação* (DARWIN, 2010), um verdadeiro catálogo de incontáveis exemplos de domesticação de animais e cultura de plantas. Constatamos, portanto, que Darwin não deixa a menor dúvida do elevado nível de consideração que ele atribuía às evidências obtidas a partir dessa atividade, tendo ele as utilizado largamente para fundamentar os conceitos de seleção natural e adaptação:

[...] é da mais alta importância que se adquira uma perspectiva nítida dos meios de modificação e adaptação recíproca dos seres orgânicos. Quando iniciei minhas

observações, pareceu-me provável que um estudo cuidadoso de animais domesticados e plantas cultivadas oferecesse a melhor oportunidade para desvendar esse problema tão obscuro. E não me decepcionei. Nesse caso, como em outros igualmente desconcertantes, pude constatar que nosso conhecimento da variação sob domesticação, imperfeito como é, oferece sempre a melhor e mais segura pista. Que me seja permitido exprimir aqui minha convicção acerca do alto valor desses estudos, tantas vezes negligenciados pelos naturalistas (DARWIN, 2018, p.42).

Não há nenhuma razão para que os princípios que com tanta eficácia atuam nas condições de domesticação não tenham similar atuação na natureza (DARWIN, 2018, p.610).

Diante do que expusemos, concluímos que, na análise dos experimentos com animais e plantas em condições de domesticação, a aplicação rigorosa do método indutivo de concordância e diferença com vistas a alcançar conclusões generalizantes do tipo das que Darwin se propunha a enunciar encontrava-se prejudicada. Suas conclusões incorreriam, portanto, no risco de serem consideradas *hasty generalizations*⁹⁷, conforme discutimos no Capítulo 1.

A despeito das limitações metodológicas e dos riscos de vieses nas inferências a partir dessas fontes de evidências empíricas, Darwin logrou induzir uma generalização que se mostraria consistente ao longo do tempo. Trata-se da generalização de que existe uma desigualdade nas chances de sobrevivência entre os indivíduos de uma população. Além do valor empírico que essa sentença carrega em si, ela nos permite levantar uma outra discussão de extrema relevância para os fundamentos mais gerais de validade e de efetividade do modelo explicativo evolucionista darwiniano. Conforme antecipamos quando apresentamos a Teoria Evolução das Espécies por Seleção Natural, Darwin deduziu que haveria uma relação entre a inferência de que existe uma herança desigual das características de uma população e a inferência de que existe uma sobrevivência desigual dos indivíduos dessa população. Para explicar essa dedução, Darwin enunciou o princípio da seleção natural, que prevê “que cada variação mínima das características de uma população seja preservada contanto que seja útil” (p.118), conferindo “a menor vantagem de um ser em relação àqueles com os quais compete, ou ainda, sua adaptação mais eficiente, por menor que seja o grau, às condições físicas circundantes” (p. 611). Sejam repetitivos, para sermos claros: a nosso juízo, Darwin deduziu

⁹⁷ Evidentemente que “incorrer no risco” de conclusões precipitadas (“hasty generalizations”) não significa, necessariamente, cometer o erro de enunciar conclusões falsas. Uma inferência científica pode ser considerada precipitada, se levarmos em conta o momento em que ela foi primeiramente enunciada, diante das evidências de que se dispõe naquele momento. Ainda assim, com o tempo e com a coleta de novas evidências, a partir de outras fontes, essa mesma inferência pode passar a ser fundamentada em bases mais sólidas e mostrar-se efetiva. Em termos lógicos, portanto, “hasty generalizations” são, em princípio, mais facilmente refutáveis, porém não são, também em princípio, necessariamente falsas.

os princípios de seleção natural e adaptação para explicar uma associação que ele presumiu existir entre duas inferências – herança desigual e sobrevivência desigual.

Desse encadeamento argumentativo decorrem duas implicações lógicas importantes. A primeira delas é que os princípios de seleção natural e adaptação não são induções a partir de dados empíricos, mas sim deduções de associações entre inferências obtidas, estas sim, a partir de evidências empíricas. Os conceitos de herança desigual e sobrevivência desigual têm, portanto, valor cognitivo empírico, ao tempo em que os conceitos de seleção natural e adaptação têm, por sua vez, um valor hipotético-dedutivo. A segunda das implicações lógicas é de que as duas inferências que estão na base dos princípios de seleção natural e adaptação são condições necessárias, porém não suficientes, para a validação desses princípios. Dito de outra forma, os princípios de seleção natural e adaptação são verdadeiros se, e somente se, forem verdadeiras as inferências empíricas de desigualdade de herança e desigualdade de sobrevivência. Por se tratarem de inferências empíricas, a validação das desigualdades de herança e de sobrevivência pode ser procedida por meio da coleta de novas evidências empíricas ao longo dos anos, por outros cientistas. No entanto, outros fundamentos conceituais ainda se fariam necessários para que Darwin pudesse assegurar poder explicativo aos princípios de seleção natural e adaptação.

No que tange à analogia entre “seleção natural” de indivíduos em condições de vida selvagem e “seleção artificial” de animais em condições de domesticação, críticas requerendo que Darwin fornecesse mais elementos para subsidiar sua dedução estiveram presentes desde o lançamento da *Origem das espécies*. Na ocasião, Thomas Huxley (1860, p.568) saiu em defesa em de Darwin, em uma resenha da *Origem*:

Diz-se que não há uma verdadeira analogia entre a seleção que ocorre sob domesticação, por influência humana, e qualquer operação que possa ser procedida pela natureza, pois o homem interfere de forma inteligente. Reduzido aos seus elementos, esse argumento implica que um efeito produzido com dificuldade por um agente inteligente deve ser, *a fortiori*, mais problemático, se não impossível, para um agente não inteligente. Mesmo deixando de lado a questão se a natureza, agindo como ela o faz, de acordo com leis definidas e invariáveis, pode ser corretamente chamada de um agente não inteligente, uma posição como essa é totalmente insustentável⁹⁸ (HUXLEY, 1860, p.568).

⁹⁸ Traduzido de Thomas Huxley, 1860, p.568: “Again, it is said that there is no real analogy between the selection which takes place under domestication, by human influence, and any operation which can be effected by Nature, for man interferes intelligently. Reduced to its elements, this argument implies that an effect produced with trouble by an intelligent agent must, *a fortiori*, be more troublesome, if not impossible, to an unintelligent agent. Even putting aside the question whether Nature, acting as she does according to definite and invariable laws, can be rightly called an unintelligent agent, such a position as this is wholly untenable”.

De fato, conforme mencionamos anteriormente, quando em dificuldades quanto a esse aspecto de sua teoria, Darwin apresentou um argumento *maladroit*, sob o ponto de vista naturalista, que atribuía a um agente externo ao mundo material (o Criador, na visão cristã de divindade) os “poderes ilimitados” da seleção natural (DARWIN, 2018, Capítulo VI). Entendemos, contudo, que essa referência, que ameaçou minar o reconhecimento da tese de Darwin como explicação científica, embora muito provavelmente tenha despertado sensibilidades entre naturalistas contemporâneos, pôde ser superada com uma leitura cuidadosa da *Origem das espécies*. Com efeito, Darwin recorreu a um outro conjunto de conceitos – as ideias de “competição” e “luta pela existência”, importadas de teorias econômicas – para prover fundamentação sob bases materialistas (embora não naturalistas) para os princípios de seleção natural e adaptação. A validação dessa segunda gama de conceitos também se configura, portanto, em uma condição necessária para a validação integral do tipo de associação estabelecida pelos princípios de seleção natural e adaptação. Com o recurso a esses conceitos econômicos, um flanco de dificuldades epistemológicas foi coberto, outro foi, no entanto, a nosso juízo, potencialmente aberto. Dado que “competição” e “luta pela existência” foram conceitos originalmente formulados para explicar relações humanas, nas quais os componentes de subjetividade das motivações e propósito de ações são indissociáveis, suas validações não se mostram acessíveis pelas mesmas vias metodológicas empiristas utilizadas para os demais conceitos evolutivos.

Desse modo, a partir de nossa reflexão sobre as consequências do empirismo de Darwin sobre os conceitos de ancestralidade comum, mudança ao longo do tempo, variação populacional e hereditariedade, esperamos ter demonstrado que o processo de validação se constrói (e se reforçará ao longo do tempo) em direção a procedimentos verificacionistas consolidados para as ciências empíricas. Nessa mesma direção marcham também os processos de validação das duas inferências empíricas de base dos princípios de seleção natural e adaptação – a desigualdade de herança e a desigualdade de sobrevivência. No entanto, no caso do conjunto adicional de conceitos que fundamenta os princípios de seleção natural e adaptação (“competição” e “luta pela existência”), nossa reflexão nos leva a concluir que seus processos de validação ao longo do tempo e, conseqüentemente, seus desenvolvimentos epistemológicos não necessariamente se procederão por procedimentos verificacionistas análogos aqueles utilizados pelas ciências empíricas⁹⁹. Continuaremos essa importante discussão adiante, quando

⁹⁹ É possível pensar, apenas em caráter especulativo, que o processo de validação desses conceitos possa seguir caminhos epistemológicos alternativos variados, desde (i) a validação dos conceitos econômicos de base por

refletirmos sobre como os pensadores da Síntese Evolutiva Moderna buscaram fundamentos adicionais para os principais conceitos evolucionistas.

2.4.d As bases nomológicas do evolucionismo darwiniano

Após termos refletido, na seção anterior, sobre como Darwin recolheu suas “evidências oriundas dos sentidos” e construiu as bases empíricas de sua teoria – o primeiro dos pré-requisitos epistemológicos para a produção de uma explicação causal naturalista –, direcionaremos nossa atenção agora para como ele aplicou seu “raciocínio a partir de princípios gerais” e fundou as bases nomológicas de sua teoria evolucionista.

Nas ciências modernas, conforme discutimos no Capítulo 1, as explicações teóricas foram, inicialmente, construídas a partir do arcabouço da causalidade mecânica, que foi forjado por contribuições de cientistas e pensadores que remontam aos trabalhos de Galileu, Descartes e Newton, entre outros (YAKIRA, 1994). A explicação formulada a partir desse arcabouço ajusta o fenômeno a ser explicado em um padrão de uniformidades, e mostra que sua ocorrência era esperada dadas as leis especificadas e as circunstâncias particulares pertinentes (HEMPEL, 1970). Esse conceito de causalidade mecânica foi e permanece sendo central para o poder explicativo das teorias das ciências físicas, em particular, e das ciências empíricas, em geral, pois ele estabelece uma relação estável entre as condições causais iniciais, por um lado, e os efeitos do fenômeno a ser explicado, por outro.

Uma vez que todos os organismos vivos são, inevitavelmente, parte do mundo físico, entendemos que a construção de uma teoria científica válida para a explicação dos fenômenos biológicos não pode negligenciar os modelos causais considerados válidos na explicação dos fenômenos das ciências físicas (SANTANA; TIDON; SIMON, 2020). A sentença que viemos de enunciar reconhece como válidos os pressupostos de um tipo específico de reducionismo das explicações biológicas às leis das ciências físicas, denominado reducionismo constitutivo (MAYR, 2002, p.60). Afinal, conforme assinala Agutter e Wheatley (2008):

Na ciência, geralmente tentamos explicar fenômenos em larga escala em termos de partes em menor escala. Por exemplo, buscamos entender os seres vivos em termos das células que os compõem, cada célula em termos das moléculas que os compõem,

métodos utilizados pelas disciplinas sociais e humanidades, seguida da ratificação da possibilidade de extrapolação desses conceitos para os fenômenos biológicos, até a (ii) reestruturação das bases epistemológicas das ideias de seleção natural e adaptação para longe dos conceitos econômicos e em direção a uma conceptualização centrada, exclusivamente, no mundo empírico dos fenômenos biológicos.

e cada molécula em termos de seus átomos. A abordagem "reducionista" nos ajuda a explicar as coisas de forma mecanicista e em termos mais gerais. Tudo no mundo é composto pela mesma pequena seleção de átomos, em várias combinações, então, na escala atômica, tudo deve obedecer às mesmas leis. Quanto menor a escala que observamos, mais abrangente são os fenômenos. São as entidades em larga escala que são individuais e particulares¹⁰⁰ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 7).

Podemos imaginar alguns questionamentos, de ordem metafísica, para a aceitação da existência de uma eventual influência da ideia de leis oriunda desse tipo de fisicalismo sobre as teorizações de Darwin. Um desses questionamentos decorre da exigência metafísica de, no século XIX, os conceitos contidos nas explicações naturalistas dos fenômenos biológicos, entre elas as do próprio Darwin, deverem estar em conformidade com as normas estipuladas pelas afiliações religiosas pessoais de seus autores. Esse tipo de questionamento não se apresentava como um impedimento para uma aderência de Darwin a uma concepção de funcionamento de mundo determinado por leis. Para Darwin, as leis da natureza seriam “leis impostas pelo Criador à matéria” (DARWIN, 2018, p. 633), o que indica que ele fazia parte de um grupo de naturalistas deístas do século XIX que não enxergavam contradição, em termos lógicos, entre leis da natureza e preceitos religiosos, conforme nos recorda Charbonnat (2009):

Entre 1836 e 1839, enquanto ele abandonava definitivamente sua ortodoxia juvenil e sua admiração por Paley, como ele mesmo diz em sua autobiografia, Darwin se aproximava claramente dos irreligiosos de tendência deísta e defensores de uma separação estrita entre conhecimento e fé. A evolução metafísica é aqui solidária com uma evolução epistemológica, na medida em que a relação de Deus com o mundo necessariamente envolve uma certa relação do pensador com seus enunciados. Se Deus criou imediatamente todas as formas naturais, então a ciência não pode ignorar a causa primária em suas explicações, já que esta última é, ou foi, uma causa em contato com o mundo físico. Por outro lado, se Deus mediou seu poder de criação por meio de leis, que agiram sozinhas para organizar a natureza, então as referências à divindade não são mais necessárias no campo das causas físicas¹⁰¹ (CHARBONNAT, 2009, p.4)

¹⁰⁰ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 7: “*In science, we usually try to explain large-scale phenomena in terms of smallerscale parts. For instance, we seek to understand living bodies in terms of the cells they comprise, each cell in terms of its component molecules, and each molecule in terms of its atoms. The ‘reductionist’ approach helps us to explain things mechanistically and in the most general terms. Everything in the world is made up of the same small selection of atoms, in various combinations, so at the atomic scale everything must obey the same laws. The smaller the scale we observe, the more wideranging the phenomena. It is large-scale entities that are individual and particular*”.

¹⁰¹ Traduzido de CHARBONNAT, 2009, p.4: “*Entre 1836 et 1839, alors qu’il abandonne définitivement son orthodoxie de jeunesse et son admiration pour Paley, comme il le dit lui même dans son autobiographie, Darwin se rapproche nettement des irréligieux de tendance déiste et partisans d’une stricte séparation entre savoir et foi. L’évolution métaphysique est ici solidaire d’une évolution épistémologique, dans la mesure où le rapport de Dieu au monde entraîne nécessairement un certain rapport du savant à ses énoncés. Si Dieu a créé immédiatement toutes les formes naturelles, alors la science ne peut ignorer la cause première dans ses explications, puisque cette dernière est, ou a été, une cause en contact avec le monde physique. En revanche, si Dieu a médiatisé son pouvoir de création par des lois, qui ont agi seules pour organiser la nature, alors les références à la divinité ne sont plus nécessaires dans le champ des causes physiques*”.

Com efeito, a *Origem das espécies* é, a nosso juízo, *a fortiori*, um verdadeiro tratado normativo, que reúne um conjunto de leis por Darwin associadas aos fenômenos evolutivos, hierarquicamente organizadas e conectadas entre si. No topo dessa hierarquia legal, entendemos que estão os pilares axiológicos do evolucionismo: o princípio da ancestralidade comum e o princípio da mudança ao longo do tempo. Logo abaixo deles, estão os quatro outros princípios gerais da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural: princípio da variação populacional, princípio da hereditariedade, princípio da seleção natural e princípio da adaptação. Esses seis princípios, com valor cognitivo de lei, compreendem os seis conceitos-chave com que estamos trabalhando (ver Quadro 4).

Hierarquicamente abaixo desses princípios estruturantes, Darwin (2018) enunciou uma série de leis secundárias, que subsidiam os princípios e balizam fenômenos particulares do mundo biológico, a saber: “leis de correlação de crescimento” (p.54); “lei geral da natureza que nenhum ser orgânico se fertiliza a si mesmo por uma eternidade de gerações” (p.162); “leis de unidade de tipo e de condições de existência” (p. 292); “lei da sucessão de tipos” (p. 453); “leis que governam a esterilidade dos primeiros cruzamentos entre espécies e dos híbridos resultantes” (p. 353); “leis de susceptibilidade das árvores aos enxertos” (p. 363); entre outras¹⁰². Darwin ainda reconheceu, conforme vimos, a existência de leis secundárias da variação e da hereditariedade, embora ele próprio ignorasse os mecanismos profundos que as fundamentam. Por fim, Darwin reconheceu ainda a validade de leis postuladas por outros pensadores e naturalistas: “lei do uso e desuso e da influência direta das condições de vida” (p.609); “leis da embriologia” (p.56), como a “lei da semelhança embrionária comum” (p.578); “leis da paleontologia” (p. 460); “lei da reversão” (p.281); “lei de compensação ou balanço do crescimento”, de Geoffroy Saint-Hilaire e Goethe (p.222); “leis da vida”, de Edward Forbes (p.539); ademais das “leis gerais que governam o reino animal como um todo”, de Verneuil e D’Archiac (p. 434). Na conclusão de sua obra, em seu último parágrafo, Darwin assim arremata a importância que as generalizações por meio de leis assumem em sua teoria:

É fascinante contemplar a margem de um rio, confusamente recoberta por diversas plantas de variados tipos, os pássaros cantando nos arbustos, os mais diferentes insetos voando de um lado para o outro, vermes deslocando-se pelo solo barrento, e refletir, por um instante, que essas formas, construídas de maneira tão elaborada, tão diferentes entre si e dependentes umas das outras por vias tão complexas, foram produzidas sem exceção por leis que atuam ao nosso redor. Tomadas no sentido mais amplo, essas leis são: o crescimento com reprodução; a hereditariedade, praticamente implicada na reprodução; a variabilidade, pela atuação direta ou indireta das condições de vida externas e por uso e desuso; e uma taxa de crescimento populacional tão alta que leva

¹⁰² Além dessas leis que Darwin enuncia na *Origem das espécies*, ele enunciará outras em livros posteriores. Discutiremos, em seção específica adiante, o uso da noção de leis naturais por Darwin.

a uma luta pela vida e, como consequência, à seleção natural, resultando na diversificação de caracteres e na extinção das formas menos aprimoradas (DARWIN, 2018, p.634).

Nosso exame das bases nomológicas da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural nos leva a considerar que o ímpeto legiferante de Darwin decorre, sobretudo, da influência sobre ele de ideias e pensadores das ciências modernas, afinal, “as declarações específicas sobre objetos individuais ou eventos têm valor limitado na ciência. Estamos principalmente preocupados com declarações gerais, padrões regulares e recorrentes no que é percebido” (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 2). Dessa forma, entendemos que o caminho lógico utilizado para alcançar as generalizações conceituais no modelo explicativo evolucionista darwiniano foi construído com vistas assegurar sua conformidade às leis físicas, tendo como resultado uma aproximação dos princípios nomológicos do modelo de causalidade mecânica (SANTANA; TIDON; SIMON, 2020). Entendemos não ser sem fundamento, portanto, que George Romanes (1848-1894), naturalista britânico da época da ciência vitoriana, que compartilhou com Darwin os estudos universitários em Cambridge e uma longa amizade pessoal, tenha afirmado que a teoria deste:

[...] procura alinhar os fenômenos de natureza orgânica com aqueles de natureza inorgânica; e, com isso, mostrar que qualquer ponto de vista que possamos eventualmente nutrir quanto ao tipo de causalidade que dinamiza estes últimos, devemos agora estender aos primeiros. [...] a teoria da evolução por seleção natural [...] se esforça para compreender todos os fatos de adaptação na natureza orgânica sob a mesma categoria de explicação que aqueles que ocorrem na natureza inorgânica – ou seja, sob a categoria de uma causalidade física, ou verificável¹⁰³ (ROMANES, 1893, p. 402 apud HODGSON, 2004, p. 181)

2.4.e Darwinismo e ciências físicas: permanências e mudanças

A noção aportada por Darwin, de centrar no conceito de população o *locus* de ação do fenômeno evolutivo – consolidando as bases do pensamento populacional (“populational thinking”) – difere da concepção de ciência prevalente em sua época, em alguns importantes aspectos epistemológicos (ABRANTES, 2016). Para entender o teor dessa dessemelhança de perspectivas filosóficas, começemos por uma comparação, mais uma vez, da concepção de

¹⁰³ Traduzido de ROMANES, 1893, p. 402 apud Hodgson, 2004, p. 181: “*seeks to bring the phenomena of organic nature into line with those of inorganic; and therefore to show that whatever view we may severally take as to the kind of causation which is energizing in the latter we must now extend to the former. [...] the theory of evolution by natural selection ... endeavours to comprise all the facts of adaptation in organic nature under the same category of explanation as those which occur in inorganic nature – that is to say, under the category of physical, or ascertainable, causation*”.

mundo veiculada pela Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural com aquela das teorias biológicas fixistas que a precederam.

Sob a perspectiva fixista de mundo, os indivíduos que compõem cada espécie são tipos ideais idênticos, que reúnem todas as características definidoras de sua respectiva espécie. As diferenças de características físicas entre os indivíduos de uma mesma espécie (variação intrapopulacional), quando observadas empiricamente, significam, para os fixistas, apenas meros acidentes de percurso, apenas imperfeições do mundo material decorrentes do processo imperfeito de reprodução de cópias de um tipo ideal abstrato. Conforme análise historiográfica difundida (MAYR, 2002, p. 127), a perspectiva filosófica que serve de pano de fundo para essa teorização fixista seria a concepção metafísica essencialista de mundo, originada com Platão, mas que foi, em larga medida¹⁰⁴, continuada nos estudos dos fenômenos do mundo vivo até o século XIX¹⁰⁵. Para essa concepção de mundo essencialista, a ideia abstrata das coisas é mais perfeita que a percepção que temos dessas coisas no mundo empírico. A percepção propiciada pelos sentidos não passaria, logo, de uma cópia imperfeita das ideias (ABRANTES, 2016, p. 60). A essência que define as coisas somente poderia ser encontrada, portanto, no mundo das ideias, na filosofia platônica. As divergências observadas nas características das coisas e dos seres vivos quando se compara o mundo ideal com o mundo empírico seriam, ora, esperadas, dada a incapacidade de se alcançar, no mundo empírico, a perfeição das ideias (DURANT, 1996). Assim sendo:

A interpretação criacionista das espécies pelos fundamentalistas cristãos concordava bem com o conceito essencialista de espécies, segundo o qual cada espécie é caracterizada por sua essência imutável (eidos) e separada de todas as outras espécies por uma nítida descontinuidade. O essencialismo assume que a diversidade da natureza inanimada, assim como da natureza orgânica, é reflexo de um número

¹⁰⁴ Aristóteles dedicou uma relevante parte de sua atenção aos fenômenos da vida, não sendo exagero reconhecer nele a origem dos estudos biológicos, sobretudo considerando sua influência nos naturalistas que o precederam (Ver, por exemplo, LENNOX, 2025). Aristóteles, em sua atitude empirista, divergia de Platão, pois ele reconhecia a importância dos sentidos para o acesso ao conhecimento. Aristóteles coincidia com seu mestre, contudo, ao assumir como pressuposto metafísico que “o objeto do conhecimento é, primordialmente, a forma, a essência” (ABRANTES, 2016, p. 62). A história da predominância do essencialismo na metafísica do Ocidente é, portanto, longa e perpassa pelas contribuições de Aristóteles à biologia.

¹⁰⁵ Como obras de referência para a discussão particular sobre a influência do essencialismo no pensamento fixista que permeava os estudos dos fenômenos biológicos prévios ao Darwinismo, utilizamos dois livros de Ernst Mayr, que compilam seu pensamento sobre o assunto: *The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance* (1982) e *What evolution is* (2002). Para maiores detalhes, ver também: Mayr E. (ed.), *The Species Problem*, Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science, 1957; Mayr E., 1968, *Theory of Biological Classification*, Nature, 220: 545-548; ou Mayr E., 1971, *The Nature of the Darwinian Revolution*, Science, 176: 981-989. Mais adiante, no Capítulo 4, quando discutirmos a importância das categorizações e classificações da diversidade da vida na fundamentação da validade e da efetividade dos princípios da ancestralidade comum e da evolução, apresentaremos nossas críticas à posição anti-essencialista radical de Mayr quando aplicada aos estudos evolucionistas pós-Darwin.

limitado de universais imutáveis. Esse conceito remonta fundamentalmente ao conceito platônico do *eidos*, e isso é o que os autores posteriores tinham em mente quando falavam da essência, ou "natureza", de algum objeto ou organismo. Todos aqueles objetos pertencem à mesma espécie que compartilham a mesma essência¹⁰⁶ (MAYR, 2002, p. 256).

O evolucionismo era, é claro, ainda menos compatível com o pensamento essencialista, ou seja, com a crença em tipos imutáveis e descontínuos. Para um essencialista, as mudanças na fauna terrestre só poderiam ser explicadas por extinções catastróficas e novas criações, uma visão representada nos escritos de Cuvier e seus seguidores¹⁰⁷ (MAYR, 2002, p. 350).

Críticas atualmente postas relativizam a vinculação das ideias fixistas ao essencialismo platônico e suavizam o contraste desta concepção de mundo com o pensamento populacional. Essa é a perspectiva, por exemplo, de Mary Winsor (2006, p.149), para quem: “a narrativa do essencialismo [essentialism story] é uma versão da história da classificação biológica que foi fabricada entre 1953 e 1968 por Ernst Mayr, que combinou contribuições de Arthur Cain e David Hull com seu próprio ressentimento contra Platão”¹⁰⁸. Dentro da historiografia da biologia, esse contraste extremado entre a concepção de mundo atual e aquela das teorias pré-evolucionistas, sobretudo em suas vinculações com o essencialismo, teria servido, portanto, ao propósito de legitimar os trabalhos de Darwin e de seus sucessores da Síntese Evolutiva Moderna (WINSOR, 2006).

Apesar de considerarmos que ponderações desse tipo sejam pertinentes para discussões no âmbito da historiografia da biologia, tencionamos colocar aqui em relevo um contraste que olha para dimensões que extrapolam a biologia: o contraste existente entre o pensamento populacional darwiniano e o essencialismo hegemônico nas ciências físicas da época de Darwin (e que ainda prevalece em muitas áreas atuais das ciências físicas). Sob a perspectiva do pensamento populacional, cada exemplar de uma espécie é único e formará, com outros

¹⁰⁶ Traduzido de MAYR, 2002, p.256: *The creationist interpretation of species by the Christian fundamentalists agreed well with the essentialist species concept, according to which each species is characterized by its unchanging essence (eidos) and separated from all other species by a sharp discontinuity. Essentialism assumes that the diversity of inanimate as well as of organic nature is the reflection of a limited number of unchanging universals (Hull, 1975). This concept ultimately goes back to Plato's concept of the eidos, and this is what later authors had in mind when they spoke of the essence, or "nature," of some object or organism. All those objects belong to the same species that share the same essence*”.

¹⁰⁷ Traduzido de MAYR, 2002, p. 350: *“Evolutionism, of course, was even less compatible with essentialist thinking, that is, with the belief in unchanging, discontinuous types. For an essentialist, changes in the earth's fauna could be explained only by catastrophic extinctions and new creations, a view represented in the writings of Cuvier and his followers”*.

¹⁰⁸ Traduzido de WINSOR, 2006, p. 149: *“The essentialism story is a version of the history of biological classification that was fabricated between 1953 and 1968 by Ernst Mayr, who combined contributions from Arthur Cain and David Hull with his own grudge against Plato”*. Optamos por traduzir a expressão “essentialism story” por “narrativa do essencialismo”, ao invés de “história do essencialismo”, com vistas a tentar captar, de forma mais precisa, o sentido da crítica apresentada por Winsor, também presente em Futuyma D.J., *Evolutionary Biology*, 3rd ed., Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1998.

indivíduos da mesma espécie, grupos populacionais distintos entre si e distinguíveis uns dos outros conforme a semelhança em uma ou algumas características, mas nunca em todas. A identidade que caracteriza a categoria de análise tipificadora – a espécie, o gênero ou a família, por exemplo, no caso dos fenômenos evolutivos –, é encontrada na coletividade, sem jamais se refletir, integralmente, em cada componente individual do grupo em questão. Nada mais contrastante, por exemplo, com a visão de química instituída por John Dalton (1766–1844), até hoje vigente, de que “toda matéria é feita de átomos; todos os átomos de um determinado elemento são idênticos; toda reação química é um rearranjo de átomos; compostos consistem de moléculas, que são combinações específicas de átomos” (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 108). Atualmente, a formulação de explicações em alguns domínios das ciências físicas, como na astronomia, não pode prescindir da consideração sobre a variabilidade individual dos entes que compõem as categorias tipificadoras (planetas, estrelas, galáxias, etc). Em linhas gerais, contudo, entendemos que a perspectiva essencialista da categorização das coisas do mundo empírico não entra em choque com as explicações causais de maior parte das áreas das ciências físicas, embora essa perspectiva tenha sido afastada das explicações causais evolucionistas a partir de Darwin.

Com Darwin, constatamos que houve, portanto, um afastamento dos modelos explicativos evolucionistas da antiga ideia de essencialismo, a despeito dessa concepção de mundo persistir compatível com muitas explicações das ciências físicas. No caso da antiga ideia de causa final aristotélica, observamos uma tendência oposta. Com efeito, houve, com Darwin, a persistência do recurso à ideia de causa final para explicar muitos fenômenos biológicos, a despeito de sua incompatibilidade com a causalidade mecânica das ciências físicas, conforme discutimos no Capítulo 1. Um dos quatro modos do modelo causal aristotélico para explicar os fenômenos do mundo material é a causa final, também denominada *telos*, que consiste no objetivo final presumido a ser alcançado ao cabo do processo que buscamos entender. Em se tratando dos fenômenos do mundo vivo, a causa final aristotélica configura-se como a função presumida a ser executada pelo processo em questão, como nos recorda Agutter e Wheatley (2008):

O livro *De Partibus* contém um princípio geral muito importante: todas as estruturas biológicas têm funções, e a função é a *razão de ser* da estrutura. Embora as ideias de Aristóteles sobre funções fossem necessariamente especulativas (e em muitos casos erradas), ele nunca pareceu duvidar desse princípio. Em suas próprias palavras: 'A

natureza nunca faz nada que seja supérfluo'. O princípio é importante porque leva a uma compreensão da 'causa' na biologia¹⁰⁹ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.91).

Críticas de Francis Bacon, René Descartes, de empiristas da *Royal Society* britânica, entre outros pensadores e cientistas, foram responsáveis pela exclusão definitiva da causa final das explicações nas ciências físicas (LOSEE, 2011; RUSE, 1970). A influência das ideias de Aristóteles na causalidade na biologia e na medicina foi, no entanto, mais duradoura, persistindo mesmo após essa extirpação da ideia de causa final do argumento das ciências físicas (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p.75, p.89-98). Com efeito, os debates em torno do conceito de função persistirão durante o século XX, sendo tema passível de controvérsias mesmo nos dias atuais (ULLER; LALAND, 2019). Para o objetivo de nossa reflexão, neste momento, sobre o evolucionismo de Darwin, importa-nos apenas enfatizar que, diferentemente da causalidade nas teorias da física fundamental, a causalidade na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural – sobretudo no que tange os conceitos de seleção natural e adaptação – não pode prescindir da ideia de função, como o próprio Darwin nos deixa claro: “Qualquer mudança de função que possa ser efetuada em passos insensivelmente pequenos encontra-se sob o poder da seleção natural, de modo que um órgão que se torne inútil ou prejudicial, em meio a alterações de hábitos de vida, pode facilmente ser modificado e utilizado para outro propósito” (DARWIN, 2018, 593).

A despeito das divergências supracitadas entre a episteme do modelo explicativo evolucionista darwiniano e do modelo da física fundamental - no que concerne à concepção de mundo essencialista e à ideia de função -, esperamos ter conseguido demonstrar, ao longo deste capítulo, que houve toda uma série outra de relevantes influências dos princípios da causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista das ciências modernas e contemporâneas sobre o arcabouço conceitual da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural.

2.4.f O inapreensível dos fenômenos evolutivos

A efetividade da racionalidade científica, enquanto instrumento de acesso ao conhecimento sobre o mundo empírico, depende, em larga medida, da confirmação de nossas

¹⁰⁹ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 91: “*De Partibus contains one very important general principle: all biological structures have functions, and the function is the ‘point’ of the structure. Although Aristotle’s ideas about functions were perforce speculative (and in many cases wrong), he never seems to have doubted that principle. In his own words: ‘Nature never makes anything that is superfluous’. The principle is important because it leads to an understanding of ‘cause’ in biology*” Optamos por traduzir a expressão “point of the structure” como “razão de ser da estrutura”, com vistas a guardar o sentido que entendemos ser mais próximo daquele que os autores tencionam transmitir.

ideias tendo como anteparo de comparação nossas experiências sensoriais, sejam elas imediatas ou recordações de experiências prévias:

Testamos ideias científicas comparando-as com o que podemos perceber: se a ideia não corresponde à percepção, nós a rejeitamos. Muitas “percepções” científicas dependem de instrumentos que – por assim dizer – ampliam o alcance do que podemos sentir. Objetos pequenos demais para serem vistos a olho nu podem ser observados por meio de um microscópio. Radiações com comprimentos de onda maiores ou menores do que a luz (como o infravermelho ou o ultravioleta, por exemplo) não podem ser percebidas pelos nossos olhos ou outros sentidos, mas podem ser detectadas e medidas por instrumentos especiais. “Medidas” é uma palavra importante aqui; sempre que possível, atribuímos números ao que percebemos (direta ou indiretamente). Assim, o conhecimento científico inclui tanto o que podemos perceber com instrumentos quanto com os sentidos não assistidos e – sempre que possível – medições dessas percepções¹¹⁰ (AGUTTER & WHEATLEY, 2008, p. 2).

O caráter científico que a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural assume implica, portanto, a necessidade de que seus conceitos sejam validados, ao longo do tempo, por evidências empíricas apreensíveis diretamente pelos sentidos ou indiretamente por meio de instrumentos auxiliares dos sentidos. Em consequência disso, muitos dos desafios epistemológicos que sucedem à teoria evolucionista de Darwin – como ocorreu com muitas teorias científicas ao longo da história, como a Teoria Cinética dos Gases, de James Clerk Maxwell, ou a Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, entre outros – decorreram de dificuldades em explicar os elementos empiricamente inapreensíveis do fenômeno investigado. Nesse processo de atendimento das exigências de verificação empírica, Darwin deparou-se com uma série de dificuldades, de ordem tanto metodológica como epistemológica, com as quais cientistas que elaboraram teorias das ciências físicas não tiveram de enfrentar. Essas novas dificuldades de sua teoria estão relacionadas com os elementos empiricamente inapreensíveis que são característicos dos fenômenos evolutivos biológicos. Nos próximos capítulos, refletiremos sobre como pensadores e cientistas evolucionistas que sucederam a Darwin lidariam com a necessidade de verificação da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural diante desses elementos empiricamente inapreensíveis do fenômeno evolutivo. Para facilitar nossa discussão futura, anteciparemos, em caráter introdutório, alguns dos elementos inapreensíveis dos fenômenos evolucionistas biológicos que serão foco de nossa atenção.

¹¹⁰ Traduzido de AGUTTER & WHEATLEY, 2008: “We test scientific ideas by matching them against what we can perceive: if the idea fails to match the perception, we reject it. Many scientific ‘perceptions’ depend on instruments that – as it were – extend the range of what we can sense. Objects too small to see with our unaided eyes can be seen through a microscope. Radiation with wavelengths longer or shorter than light (infrared or ultraviolet, for example) cannot be perceived through our eyes or other senses, but it can be detected and measured by special instruments. ‘Measured’ is an important word here; whenever we can, we attach numbers to what we (directly or indirectly) perceive. So scientific knowledge includes things that we can perceive using instruments as well as our unaided senses, and – when possible – measurements of these things”.

Darwin apresentou toda uma pletora de ilustrações taxonômicas que subsidiam a inferência dos princípios de ancestralidade comum e de mudança das espécies ao longo do tempo. Existem componentes empiricamente inapreensíveis nesses dois princípios que trazem desafios para a complementação dessas evidências. Em um primeiro aspecto, assim como Darwin, todos os investigadores que tencionem analisar a validade desses princípios, em qualquer momento da história, o fazem *a posteriori* da ocorrência dos fenômenos. Dado que se tratam de fenômenos únicos, não reproduzíveis, os evolucionistas deparam-se, inevitavelmente, com uma dificuldade de ordem epistemológica para a inferência de padrões de regularidade que permitam o estabelecimento de relações causais efetivas. A essa dificuldade de ordem epistemológica soma-se uma outra, de ordem temporal, que decorre do fato de os fenômenos evolutivos se procederem em uma escala de tempo longa, de milhares ou milhões de ano, impossível de ser acompanhada *pari passu* pelos pesquisadores.

Esses investigadores evolucionistas devem enfrentar, também, a dificuldade de descobrir como apreender, em termos intelectuais, que uma nova espécie está em formação. O fenômeno da transição das espécies – *generatio heteronyma* – é gradual e prolongado, mas, na árvore da vida, precisa ser representado por com uma classificação estanque, que deve reunir todo um grupo de indivíduos em uma nova categoria tipológica, diferente das existentes. Essa divergência entre a gradualidade do fenômeno evolutivo e o caráter compartimentalizado da categorização e classificação da diversidade dos seres vivos em sistemas representativos representa outra dificuldade de ordem epistemológica às inferências.

Existem também elementos inapreensíveis de ordem espacial na Teoria da Evolução as Espécies por Seleção Natural. Não foi possível a Darwin, nem teria sido a nenhum outro evolucionista, conhecer todas as espécies de animais e plantas vivas do planeta Terra a sua época, ademais daquelas espécies fossilizadas, para de todo o conjunto extrair em uma inferência direta a história de suas evoluções. Darwin apresentou numerosas ilustrações, meticulosamente colhidas durante sua viagem a bordo do *HMS Beagle*, bem como exemplos e analogias extraídos da domesticação de animais e plantas e de experimentações realizadas em seu jardim ao longo de mais de duas décadas de trabalho de redação da *Origem*. Esses esforços de Darwin, embora louváveis, não podem ser considerados exaustivos para vencer o inapreensível de ordem espacial, dado que há seres vivendo ou que viveram em ambientes tão diversos e de difícil acesso à observação científica quanto imagináveis, que vão dos recônditos escondidos das cavernas às profundezas dos oceanos.

Outro elemento inapreensível de ordem espacial, e também por limitação metodológica, para a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, que existia na época de Darwin, tem relação com as escalas de dimensões físicas dos fenômenos. Parte importante da explicação causal dos fenômenos evolutivos proposta por Darwin procede-se dentro dos organismos, em um nível expressivamente pequeno (tecidos e células), invisível a olhos nus¹¹¹. Muitos conceitos científicos de base empírica dependem da emergência dos instrumentos apropriados de observação para se desenvolverem. É difícil imaginar, por exemplo, toda a série de consistentes conceitos astronômicos que Galileu propôs, entre eles sua inferência sobre o caráter heliocêntrico do sistema solar, sem as melhorias que ele mesmo introduziu nos telescópios (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 66). Esse seria o caso também dos fenômenos de variação e hereditariedade, que Darwin deduziu existirem, mas que, conforme vimos, não foi capaz de acessar os mecanismos causais profundos pelos quais eles se procediam. A esse problema de inapreensibilidade conjuntural do século XX podemos adicionar um problema epistemológico que é estrutural e permanente, relacionado ao fato de os fenômenos biológicos estarem presentes em múltiplos níveis de organização, mais numerosos que aqueles do mundo inorgânico, níveis esses muitas vezes caracterizados por diferentes temporalidades de evolução, como relógios que pulsam em diferentes ritmos (KOJMAN-ROZEN, 2011). A escolha do nível apropriado para o estabelecimento das relações causais explicativas dos fenômenos biológico configura-se, portanto, em um relevante desafio de ordem epistemológica.

Darwin tentou lidar, de diferentes formas, com essas dificuldades relacionadas a elementos inapreensíveis de ordem epistemológica, temporal e espacial de sua teoria. Como vimos, um dos principais recursos epistemológicos ao qual ele recorreu foi a generalização de conclusões por meio de leis gerais: Darwin atribuiu aos princípios por ele inferidos para a evolução das espécies o caráter de leis da natureza, no sentido cartesiano do conceito. Ao proceder por esse caminho, Darwin assegurava-se que as regularidades que fossem inferidas sobre os fenômenos biológicos a partir de situações espacial e temporalmente particulares poderiam ser consideradas válidas, em termos lógicos, para todas as demais circunstâncias. Para assegurar a efetividade dos princípios que assim inferiu, Darwin recorreu, como também vimos, à categorização e classificação da diversidade das espécies em redes de filogenia rigorosamente construídas, bem como a variados e numerosos exemplos empíricos de animais e plantas em situações de vida selvagem e em domesticação. Darwin chegou, até mesmo, a tentar recorrer à

¹¹¹ Ao longo do século XX, essa escala de dimensões físicas ficaria mais comumente conhecida como o nível molecular, dando origem a disciplinas como biologia molecular, genética molecular, filogenia molecular, entre outras.

noção de “mecanismo” como artifício para materializar princípios gerais, como atesta sua tentativa de explicar a hereditariedade por meio do mecanismo de transmissão das gêmulas da Teoria da Pangênese. Dada a importância dessa discussão, voltaremos a ela futuramente. Diante de todos esses elementos, concordamos com sua visionária avaliação de Thomas Huxley sobre o significado do impacto da teoria de Darwin nas ciências biológicas:

Nosso objetivo terá sido atingido se tivermos oferecido uma exposição inteligível, por breve que seja, dos fatos estabelecidos ligados à questão das espécies, das relações entre a explicação dos fatos oferecidos pelo sr. Darwin e as teorias sustentadas por seus predecessores e contemporâneos e, acima de tudo, da acuidade de sua teoria em relação às exigências da lógica científica. Observamos que ela ainda não satisfaz todas essas exigências; mas não hesitamos em reconhecer que é tão superior a qualquer outra hipótese, precedente ou contemporânea, pela extensão de sua base de observações e experimentos, pelo método, rigorosamente científico, e pela capacidade de explicar fenômenos biológicos, como era a hipótese de Copérnico em relação às especulações de Ptolomeu. Mas, afinal, as órbitas planetárias não se mostraram inteiramente circulares e, apesar dos serviços prestados por Copérnico à ciência, Kepler e Newton tiveram de sucedê-lo. E se a órbita descrita pelo darwinismo for excessivamente circular? E se as espécies oferecerem, aqui e ali, fenômenos residuais que a seleção natural não pode explicar? Em vinte anos, os naturalistas poderão dizer se é ou não o caso; seja como for, teremos uma enorme dívida para com o autor da *Origem das espécies*. Daríamos ao leitor uma impressão muito errada se o levássemos a pensar que o valor da obra depende inteiramente da justificação definitiva das teorias que ela contém. Pelo contrário, mesmo que amanhã elas fossem refutadas, o livro permaneceria o melhor de seu gênero – o mais exaustivo compêndio já publicado contendo fatos judiciosamente reunidos em prol da doutrina da origem natural das espécies. [...] Como um todo, não nos parece haver outra obra [...] que seja tão apta a exercer profunda influência sobre a biologia do futuro e a estender os domínios da ciência a regiões do pensamento nas quais até hoje ela mal penetrou (HUXLEY, Thomas. Extraído de *Westminster Review*, 17 abr. 1860, pp. 541–70. *The Victorian Web*, acessível na internet. In: DARWIN, 2018, p. 678-679).

Esperamos ter conseguido demonstrar ao longo deste capítulo que as influências que Darwin recebeu dos princípios de causalidade das ciências modernas foram primazes para que ele pudesse fazer uso de todas essas estratégias epistemológicas e metodológicas, com vistas a intuir, deduzir e induzir seus conceitos evolucionistas e sedimentar seus fundamentos de validade e efetividade. Continuaremos aprofundando nossa reflexão nessa direção. No próximo capítulo, refletiremos sobre como o modelo de causalidade mecânica e a epistemologia verificacionista influenciaram pensadores e cientistas evolucionistas posteriores a Darwin e de que forma essas influências contribuíram para preencher lacunas entre o inapreensível e o apreensível do fenômeno evolutivo.

CAPÍTULO 3: SÍNTESE EVOLUTIVA MODERNA E A MATEMATIZAÇÃO DA CAUSALIDADE EVOLUCIONISTA

Após a publicação da *Origem das espécies*, em 1859, o modelo explicativo evolucionista enunciado por Darwin tornou-se conhecido, em particular, pelos britânicos, e, de forma mais ampla, pela sociedade europeia e norte-americana intelectualizada da época. A recepção dessa teoria entre esses diferentes grupos de indivíduos letrados foi, contudo, variável (BOWLER, 2009).

Sob o ponto de vista das filiações epistemológicas e das fundamentações lógicas da teoria, os cientistas, por um lado, exaltaram suas bases materialistas. Por outro lado, muitos clérigos e adeptos da cristandade ocidental condenaram suas contradições com a doutrina religiosa dominante, aquela de criação das espécies por um ato miraculoso divino.

Sob o ponto de vista das filiações morais da teoria, por um lado, grupos sociais em ascensão, como a burguesia industrial e profissionais liberais, saudaram o caráter dinâmico das mudanças previstas pela teoria de Darwin. Por outro lado, grupos sociais conservadores criticaram os riscos de ruptura do *status quo* econômico-social que estariam implicados com a adoção dessa nova concepção de mundo:

Quando *A Origem das Espécies* foi publicada, em 24 de novembro de 1859, as 1.250 cópias da primeira edição foram vendidas rapidamente pelas livrarias no primeiro dia. Houve algum apoio por parte de cientistas, mas grande parte da resposta inicial foi negativa. Um clérigo declarou Darwin como o homem mais perigoso da Inglaterra. Não devemos nos surpreender com a reação das forças conservadoras. Se o evolucionismo implicasse que os humanos eram meramente primatas aprimorados, e a natureza apenas um ciclo sem sentido de luta e morte, onde estava a fonte divina dos valores morais? E se esses valores tradicionais estivessem ameaçados, também estaria a ordem estabelecida da sociedade, da qual a Igreja ainda era um pilar central. Aqueles que eram a favor da teoria tendiam a vir de origens sociais menos privilegiadas e estavam ansiosos para substituir a antiga hierarquia por uma nova ordem favorecendo as classes médias [...] No entanto, havia argumentos técnicos tanto a favor quanto contra a teoria, e o debate sobre esses argumentos na comunidade científica determinaria o destino da teoria. Se fosse desacreditada pelos cientistas, dificilmente poderia ser usada com fins revolucionários na sociedade em geral¹¹² (BOWLER, 2009, p. 177).

¹¹² Traduzido de BOWLER, 2009, p. 177: “When the *Origin of Species* was published on November 24, 1859, the 1,250 copies of the first edition were snapped up by booksellers on the first day. There was some support from scientists, but much of the initial response was negative. One clergyman declared Darwin to be the most dangerous man in England. We should not be surprised by the reaction of conservative forces. If evolutionism implied that humans were merely improved apes, and nature only a senseless round of struggle and death, where was the divine

Diante do que vimos no capítulo anterior, a respeito das influências de ideias e pensadores das ciências modernas sobre o modelo explicativo evolucionista apresentado na *Origem das espécies*, não nos surpreende que importantes historiadores das ciências nos apontem que alguns dos primeiros apoiadores de Darwin tenham sido encontrados nessas ciências, como o geólogo Charles Lyell, bem como botânicos interessados na interação entre os seres vivos e o ambiente físico que os cerca, a exemplo de Joseph Dalton Hooker e Asa Gray¹¹³ (BOWLER, 2009). A eles podemos somar, ainda, o médico e morfologista Thomas Henry Huxley, que viria a ficar conhecido como “Darwin’s bulldog”, em referência à defesa aguerrida que ele encampou da teoria darwiniana (WHITE, 2003). Esses indivíduos formaram um círculo de defesa da teoria de Darwin no Reino Unido, nos Estados Unidos e na comunidade científica ocidental em geral. Bem verdade, eles não concordavam com todas as ideias de Darwin. Huxley, por exemplo, não aceitava o princípio da seleção natural. No entanto, esses indivíduos sublimaram suas divergências intelectuais, em prol do objetivo comum de fazer prevalecer a teoria de Darwin sobre as explicações até então dominantes para os fenômenos do mundo vivo, sobretudo aquelas de base miraculosa:

Dado que os detalhes da teoria eram controversos, o resultado do debate seria determinado não apenas pelas evidências, mas também pelas habilidades retóricas e organizacionais das partes rivais [...] A evolução foi útil porque ela demonstrava que a ciência poderia agora determinar a verdade em uma área antes reivindicada pela teologia. [...] Ao explorar sua posição nessa rede, Huxley e seus amigos garantiram que o darwinismo havia chegado para ficar. Eles controlavam os periódicos científicos — o periódico *Nature* foi fundado em parte para promover a campanha — e manipulavam as nomeações acadêmicas¹¹⁴ (BOWLER, 2009, p.185).

Como resultado desse trabalho de persuasão – não somente científico, mas também ideológico – empreendido por Darwin e seus apoiadores, por volta de meados da década de 1870, o evolucionismo, como corrente de pensamento, sagrou-se vitorioso no meio acadêmico

source of moral values? And if those traditional values were threatened, so was the established order of society, of which the Church was still a central pillar. Those who favored the theory tended to come from less privileged social backgrounds and were anxious to replace the old hierarchy with a new order favoring the middle classes [...] Yet there were technical arguments both for and against the theory, and the debate over these arguments in the scientific community would determine the theory's fate. If it were discredited by the scientists, it could hardly be used to revolutionary effect in society at large”.

¹¹³ O ramo de estudos da biologia ao qual se dedicavam Hooker e Asa Gray poderia ser atualmente denominado biogeografia, na medida em que esses pesquisadores estudavam os determinantes da distribuição geográfica de plantas e animais. Mais genericamente, poderíamos incluir seus trabalhos também no objeto de estudo da ecologia contemporânea.

¹¹⁴ Traduzido de BOWLER, 2009, p. 185: “Given that the details of the theory were controversial, the outcome of the debate would be determined not only by the evidence but also by the rhetorical and organizational skills of the rival parties [...] Evolution was useful because it demonstrated that science could now determine the truth in an area once claimed by theology [...] By exploiting their position in this network, Huxley and his friends ensured that Darwinism had come to stay. They controlled the scientific journals – the journal *Nature* was founded in part to promote the campaign – and manipulated academic appointments”.

frente a explicações fixistas e teológicas do fenômeno da diversidade das espécies (BOWLER, 2009; GOULD, 2002). Esse êxito do evolucionismo de Darwin – aqui apresentado sob a perspectiva da sociologia das ciências de Thomas Kuhn (2017) – não implica, contudo, que tenha havido uma validação imediata e incontestada da verdade e da efetividade de todos os princípios enunciados na *Origem das espécies*. Com efeito, sob a perspectiva epistemológica, aquela que mais interessa à nossa análise reflexiva, a recuperação dos fatos históricos nos permite constatar que, no meio acadêmico, a consolidação lógico-conceitual das principais noções evolucionistas darwinianas levaria muito mais tempo para se efetivar que o levado para a aceitação sociológica da ideia de evolução. Essa consolidação da episteme evolucionista desenvolver-se-ia de forma processual, culminando com uma consistente integração teórica ocorrida no início do século XX, que viria a ser denominada pela historiografia da ciência de Síntese Evolutiva Moderna (BOWLER, 2009; GOULD, 2002). A partir de agora, ocupar-nos-emos com esse processo de integração conceitual que se desenvolveu com a Síntese Evolutiva Moderna¹¹⁵.

A Síntese Evolutiva Moderna é um movimento intelectual caracterizado pela intensa investigação científica e reflexão filosófica sobre os fenômenos da vida. Durante esse período, um grupo de estudiosos do fenômeno evolutivo integrou conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural com os estudos sobre a genética mendeliana e com métodos de estatística populacional. Desse grupo de pensadores, selecionamos, conforme apresentado em nosso capítulo introdutório, Ronald Fisher, John Haldane, Sewall Wright e Theodosius Dobzhansky, por suas relevantes contribuições intelectuais à essa integração de conceitos e métodos que resultou na reestruturação, em muitos aspectos, do arcabouço explicativo do evolucionismo. Fazendo uso de estratégia de reflexão análoga àquela que adotamos no Capítulo 2 – sobre as contribuições de Charles Darwin –, dedicaremos nossa análise lógico-conceitual, neste capítulo (Capítulo 3) e no seguinte (Capítulo 4), à influência dos princípios da causalidade científica sobre as contribuições epistemológicas e metodológicas dos pensadores da Síntese.

Iniciaremos este capítulo por uma retrospectiva histórica – resumida e, por consequência, não exaustiva – de como se procedeu a Síntese Evolutiva Moderna, recuperando alguns elementos factuais que julgamos relevantes para o desenvolvimento de nossa análise epistemológica. Em seguida, adentraremos a etapa de nossa reflexão propriamente dita, a ser procedida por meio de análise de como os pesquisadores da Síntese Evolutiva Moderna que

¹¹⁵ Por simplificação, haverá casos em que nos referiremos à Síntese Evolutiva Moderna com o uso apenas da palavra “Síntese”.

selecionamos consolidaram ou reformularam os principais conceitos evolucionistas propostos por Darwin, e de como esse processo de consolidação ou reformulação se procedeu com auxílio de uma matematização dos conceitos evolucionistas e às luzes da influência dos princípios advindos do modelo de causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista das ciências que caracterizam o período.

3.1 Síntese Evolutiva Moderna: uma fusão em múltiplas dimensões

Os conceitos evolucionistas apresentados por Darwin estavam, decerto, sujeitos a refinamentos e mudanças desde o momento em que foi publicada a *Origem das espécies*, em 1859. Não precisamos de muito esforço para aceitar um dos cânones da produção de conhecimento científico, aquele de que, uma vez publicada uma obra científica, seu conteúdo deixa de pertencer exclusivamente a seu autor e passa a estar sujeito ao crivo analítico de todos os demais cientistas e pensadores, contemporâneos e posteriores. O próprio Darwin, com as cinco edições de a *Origem das espécies* que sucederam à primeira edição (versão com que estamos trabalhando), e com obras posteriores, como *The descent of man, and selection in relation to sex*, bem como muitos naturalistas que lhe foram contemporâneos procederam complementações e ajustes à Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural ainda na segunda metade do século XIX. Essas contribuições foram por nós tratadas nos capítulos anteriores como parte do desenvolvimento conceitual do evolucionismo. A Síntese Evolutiva Moderna, contudo, assume um caráter especial nesse processo de evolução dos conceitos evolucionistas, pois produziu um desenvolvimento conceitual determinante para a validação do modelo evolucionista, que foi a conjunção dos conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural com a genética mendeliana e com métodos de estatística populacional.

Conforme mencionamos em nosso capítulo introdutório, a Síntese refere-se a um conjunto particular de desenvolvimentos conceituais que se procederam durante um período de tempo específico. O processo de Síntese iniciou-se a partir de 1900 e ganhou corpo e feições mais evidentes durante a década de 1930, com a publicação dos mais relevantes trabalhos dos pensadores mais importantes do período: *Teoria Genética da Seleção Natural*, de Ronald Fisher, em 1930; *Evolução em populações mendelianas*, de Sewall Wright, em 1931; *As causas da evolução*, de John Burdon Sanderson Haldane, em 1932; e *Genética e a origem das espécies*, de Theodosius Dobzhansky, em 1937 (vide Quadro 1). Os dois marcos extremos desse hiato temporal devem ser lidos, no entanto, apenas como referências flexíveis para nossa reflexão,

não como pontos de partida e chegada precisos; afinal, conforme ressalva que temos apresentado desde o capítulo introdutório deste trabalho, para realizar a análise do desenvolvimento epistemológico do modelo explicativo evolucionista a que nos propusemos, foi-nos preciso adotar essa postura de flexibilidade na estipulação de marcos temporais. Isso é sobretudo válido para o marco mais distal por nós escolhido – o final da década de 1930 –, dado que o movimento de Síntese Evolutiva Moderna prosseguiu até a segunda metade do século XX.

A origem da denominação “Síntese Moderna” encontra-se no livro *Evolution: the Modern Synthesis* (1942), de Julian Huxley¹¹⁶. A síntese a que Huxley se referia era, mais provavelmente, a síntese conceitual a que ele próprio se propunha fazer em seu livro, cujo objetivo era amalgamar os conceitos e as teorias de pensadores evolucionistas que o precederam, de variados campos do saber biológico, entre eles Fisher, Wright e Haldane, por nós também selecionados. Gould nos recorda que nenhum dos grandes pensadores da Síntese teria batizado a teoria:

Fisher não ofereceu nenhuma designação geral para seu darwinismo geneticamente revivificado em 1930, nem Haldane em 1932. Dobzhansky, iniciando a segunda onda de integração em 1937, também não propôs nenhum rótulo, seja para o centro teórico ou para o movimento em geral. O nome aceito surgiu mais tarde, e sem intenção consciente. A “teoria sintética”, ou a “teoria sintética moderna” — de muitas maneiras um nome curiosamente pouco informativo e excessivamente amplo — deriva do título de um livro escrito pelo neto do mais eficaz defensor de Darwin: *Evolution, The Modern Synthesis*, publicado por Julian Huxley em 1942¹¹⁷ (GOULD, 2002, p. 503).

Ao longo do tempo, essa expressão “Síntese Evolutiva Moderna” viria a receber dos historiadores da ciência diferentes significados, alguns que incluem até mesmo conceitos evolucionistas não darwinianos (BOWLER, 2009)¹¹⁸. A despeito da existência dessa

¹¹⁶ Julian Huxley era neto do amigo pessoal e interlocutor de muitas cartas de Charles Darwin, Thomas Henry Huxley, o “Darwin’s bulldog”, que há pouco mencionamos. Julian Huxley não era naturalista, tampouco pesquisador de campo. Ele era um filósofo humanista, em cuja obra a ideia de progresso evolucionista assumia fortes tonalidades (BOWLER, 2009, p. 335-336). Sua capacidade de síntese da genética populacional com os conceitos darwinianos, a partir do conhecimento produzido pelos cientistas da época e com auxílio de uma escrita límpida e descomplicada, foi o que permitiu catapultar seu livro *Evolution: the Modern Synthesis* ao altar das obras fundacionais da Síntese Evolutiva Moderna.

¹¹⁷ Traduzido de GOULD, 2002, p. 503: “Fisher offered no general designation for his genetically revived Darwinism in 1930, nor did Haldane in 1932. Dobzhansky, beginning the second wave of integration in 1937, proposed no label, either for the theoretical center or for the general movement. The accepted name emerged later, and without conscious intent. The “synthetic theory,” or the “modern synthetic theory”—in many ways an oddly uninformative and overly broad name—derives from the title of a book written by the grandson of Darwin’s most effective defender: *Evolution, The Modern Synthesis*, published by Julian Huxley in 1942”.

¹¹⁸ Para retrospecto mais abrangente sobre as diferentes interpretações historiográficas do termo “Síntese Evolutiva Moderna”, ver, por exemplo, o Capítulo 9 de BOWLER, Peter J. *Evolution: The History of an Idea*. 25th Anniversary Edition. Berkeley: University of California Press, 2009.

multiplicidade de interpretações historiográficas¹¹⁹ sobre o significado da Síntese, é possível ver a Síntese Evolutiva Moderna como sendo um processo – algo semelhante a um movimento intelectual não programático – de revisão e reconfiguração conceitual do modelo explicativo evolucionista, cujo resultado foi uma matriz teórica que integrou a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural darwiniana com a genética mendeliana e a estatística de populações. Na história do desenvolvimento dos conceitos evolucionistas que temos buscado recuperar, a Síntese nos importa sobremaneira, dado que ela imprimiu à ideia original de “darwinismo” uma nova acepção, uma mudança de paradigma – nos termos de Kuhn (2017) –, que foi bem captada por Bowler (2009, p.179):

[...] o significado do termo Darwinismo mudou ao longo dos anos. Por volta dos anos 1870, o evolucionismo estava triunfante e, como todos associavam a teoria a Darwin, ela passou a ser conhecida como Darwinismo. Darwinismo significava pouco mais do que evolucionismo – o termo não denotava um compromisso com a teoria darwiniana da seleção natural. Muitos dos principais apoiadores de Darwin, incluindo T. H. Huxley, permaneceram desconfiados da teoria selecionista. Mesmo Darwin em si não era um darwinista pelos padrões modernos, porque ele ainda admitia um papel para o Lamarckismo. Para entender a primeira geração de evolucionistas, é necessário reconhecer que eles eram darwinistas apenas em um sentido mais amplo do termo. [...] a conversão inicial ao evolucionismo teve que ser complementada por uma segunda mudança de paradigma por volta de 1900, que inaugurou a era do darwinismo moderno¹²⁰ (BOWLER, 2009, p.179).

Em nossa reflexão sobre a Síntese Evolutiva Moderna, buscaremos atribuir importância, em igual magnitude, à teoria darwiniana, à genética mendeliana e à estatística de populações quando da análise do processo de reconfiguração teórica do modelo explicativo evolucionista. Bem verdade, mais que uma preferência metodológica, esse equilíbrio que adotamos – de atribuir igual atenção a todos os pilares lógico-conceituais da Síntese – será essencial para o rigor e a amplitude de nossa reflexão, dado que nos permitirá proceder (nos Capítulos 3 e 4), com os conceitos oriundos da genética e da estatística de populações, o mesmo trabalho reflexivo que realizamos com as ideias originais de Darwin (Capítulo 2), ou seja, uma análise

¹¹⁹ Em decorrência dessa multiplicidade de interpretações sobre esse processo de produção de conhecimento biológico do início do século XX, a historiografia da ciência tem atribuído denominações alternativas à Síntese Evolutiva Moderna, como “Teoria Sintética da Evolução” (AYALA, 1982) e “Neodarwinismo” (BERRY, 1982).

¹²⁰ Traduzido de BOWLER, 2009, p. 179: “[...] *the meaning of the term Darwinism has changed over the years. By the 1870s, evolutionism was triumphant, and because everyone associated the theory with Darwin it became known as Darwinism. Darwinism meant little more than evolutionism—the term did not denote a commitment to the Darwinian theory of natural selection. Many of Darwin's leading supporters, including T. H. Huxley, remained suspicious of the selection theory. Even Darwin himself was not a Darwinist by modern standards, because he still admitted a role for Lamarckism. To understand the first generation of evolutionists requires recognizing that they were Darwinists only in the loosest sense. The metaphor of the struggle for existence was often applied in ways that do not correspond to the modern idea of natural selection. Non-Darwinian mechanisms of evolution and a preference for the idea of progress were rampant even among scientists [...] the initial conversion to evolutionism had to be supplemented by a second change of paradigm around 1900, which ushered in the age of modern Darwinism.*”

aprofundada sobre a influência que os princípios da causalidade das ciências modernas e contemporâneas exerceram sobre eles. Na terminologia Síntese Evolutiva Moderna, valorizamos também o fato de que, sob o ponto de vista semântico, a palavra “síntese” nos aporta uma noção de “fusão”, em diferentes dimensões, que consideramos importante colocar em relevo em nossa reflexão.

A primeira dimensão da fusão que gostaríamos de destacar diz respeito a uma fusão teórica, entre a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural de Darwin e a genética mendeliana. Essas teorias não estavam originalmente integradas em suas formulações originais. Darwin (1809-1882) e Mendel (1822-1884) foram contemporâneos no século XIX, porém não estiveram engajados em um intercâmbio intelectual. Embora o trabalho científico de ambos buscasse explicações para o fenômeno da diversidade dos seres vivos, é bem provável que, conforme as evidências históricas atualmente conhecidas, eles tenham exercido pouca ou nenhuma influência um sobre o pensamento do outro (BIZZO, 2008; BIZZO; EL-HANI, 2009). Suas posições no mundo de produção de conhecimento científico da época eram bastante divergentes. De um lado estava Johann Mendel, um jovem padre da Ordem Agostiniana (batizado como Gregor quando adentrou nesta Ordem), com treinamento em matemática e ciências naturais e interesse particular por física e estudos biológicos. Mendel trabalhou em um mosteiro na cidade de Brno do atual território da República Tcheca – na época, Brünn, parte do Império Austro-húngaro (EL-HANI, 2015, p. 174) –, e faleceu sem o devido reconhecimento público e sem lograr a necessária divulgação do trabalho científico de expressiva qualidade que produziu, de caráter eminentemente experimental (FISHER, 1930, Prefácio viii; HUMINIECKI, 2020). Do outro lado estava Charles Darwin, um naturalista oriundo de família britânica abastada e tradicional, membro da *British Royal Society* desde a idade de 30 anos, que estava perfeitamente inserido na comunidade científica anglófona do século XIX. e cujo trabalho era divulgado em museus renomados, como o Museu de História Natural de Londres e o Museu de Zoologia de Cambridge (DESMOND; MOORE, 1991). Esses diferentes contextos sociológicos provocam uma recepção diferente das teorias desses dois indivíduos, tendo como resultado aquilo que Bizzo (2008) aludiu como indiferença à teoria genética de Mendel face à pomposa teoria genética de Darwin. Em usufruto dessa sua posição vantajosa na rede acadêmica da época, Darwin teve, como vimos anteriormente, conhecimento de teorias alternativas para o mecanismo de transmissão da hereditariedade, como aquela do próprio Mendel (STANFORD, 2006). No entanto, Darwin atribuiu a essas teorias alternativas pouca ou nenhuma importância *vis à vis* a sua Teoria da Pangênese. Esse caso seria, conforme discutimos

anteriormente, um exemplo emblemático do “problema das alternativas não concebidas” no desenvolvimento das ciências, em que teorias com bases empíricas consistentes foram longamente desprezadas pelo *mainstream* científico (STANFORD, 2006).

A ausência de integração, desde o princípio, entre a teoria darwiniana da evolução por seleção natural e a genética mendeliana não se justifica, exclusivamente, por ignorância ou desprezo, não intencionais ou deliberados, da comunidade científica em geral, ou de Darwin em particular, quanto aos detalhes de novas ideias sobre a hereditariedade. O fato é que as novas ideias de Mendel sobre a hereditariedade, mesmo após terem sido bem conhecidas, não convergiram de imediato com a evolução darwiniana. Sobre esse contexto, Fischer (1930) e Dobzhansky (1937) nos recordam que foi no início do século XX que cientistas como Hugo de Vries, Carl Correns e Erich von Tschermak reconheceram o consistente poder explicativo das chamadas “leis mendelianas” para o fenômeno da hereditariedade de plantas e animais. Para esses geneticistas pioneiros, a efetividade das explicações mendelianas mostrava-se suficiente para explicar as mudanças ao longo do tempo, de modo que a ideia de seleção natural seria, para eles desnecessária. Ao serem revalorizadas e melhor conhecidas, o que as ideias de Mendel suscitaram, portanto, não foi um reforço das ideias de Darwin, mas sim contundentes críticas à Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, em suas diversas dimensões. Assim sendo, a genética mendeliana apresentar-se-ia, na aurora do século XX, como uma das mais severas objeções à ideia de seleção natural na qual se centrava a teoria darwiniana, como bem nos sintetiza Bowler (2009, p. 325):

Cientistas haviam recebido a teoria da seleção natural de Darwin com muitas reservas, e nos primeiros anos do século XX, o nível de hostilidade aumentou. Teorias teleológicas como o Lamarckismo ainda eram aceitas em algumas áreas tradicionais da biologia, mas agora o novo estudo da hereditariedade, baseado em experimentos, havia criado um modelo de variação por mutação que também tornava a seleção aparentemente supérflua. Até mesmo a ideia básica de que a evolução era moldada pelas demandas da adaptação foi criticada por geneticistas, convencidos de que formas mutantes se reproduziriam mesmo que não oferecessem aptidão adicional¹²¹ (BOWLER, 2009, p. 325).

Esses geneticistas pioneiros, influenciados sobretudo pelo pensamento do neerlandês Hugo De Vries (1848-1935), questionavam diferentes fundamentos do modelo explicativo darwiniano. Eles atribuíam às mudanças responsáveis pela evolução um caráter “saltacionista”,

¹²¹ Traduzido de BOWLER, 2009, p. 325: “Scientists had received Darwin's theory of natural selection with many reservations, and in the early years of the twentieth century, the level of hostility increased. Teleological theories such as Lamarckism were still accepted in some traditional areas of biology, but now the new experimentally based study of heredity had created a model of variation by mutation which also made selection seem superfluous. Even the basic idea that evolution was shaped by the demands of adaptation came under fire from geneticists convinced that mutated forms would breed even if they offered no additional fitness”.

caracterizado por grandes mutações, que modificariam as características diferenciais dos seres vivos, e que ensejariam a formação de novas espécies em saltos (GOULD, 2002). Para De Vries, portanto, a evolução marcharia a passos amplos, sobre largos degraus de mudanças. Essa forma de apreender o fenômeno evolutivo e a diversificação das espécies contrastava com as graduais e incrementais mudanças adaptativas propostas por Darwin.

Entre os contemporâneos e sucessores imediatos de Darwin, esse caráter “gradualista” vinha sendo defendido apenas por naturalistas de campo. No início do século XX, somaram-se aos naturalistas de campo um grupo de matemáticos estatísticos que, desde o final do século XIX, se dedicavam à descrição populacional da hereditariedade das características dos organismos vivos, denominados biometristas (DOBZHANSKY, 1937). Sintetizando, de forma panorâmica, esse contexto histórico do início do século XX, observamos que as ideias de Darwin e de Mendel ocuparam polos antagônicos das explicações evolutivas e provocaram uma clivagem na comunidade científica da época: do lado do darwinismo, naturalistas de campo e biometristas; do lado do mendelismo, os geneticistas pioneiros. No entanto, num processo de fusão entre tese e antítese – o qual não seria exagero chamar de tipicamente hegeliano –, o desenvolvimento do evolucionismo viria a ganhar novos rumos:

[...] na década de 1920, a situação começou a mudar em uma direção que poucos teriam antecipado. A genética continuamente minou a plausibilidade do Lamarckismo e da ortogênese ao mostrar que não havia processo pelo qual caracteres adquiridos poderiam ser incorporados às unidades fixas de hereditariedade. Também mostrou que as mutações não eram direcionadas ao longo de um caminho predeterminado. A variação seria efetivamente aleatória, como Darwin havia suposto, e estudos sobre a genética de populações inteiras sugeriam cada vez mais que o saltacionismo extremo defendido na primeira onda de entusiasmo pela nova ciência era insustentável [...] Até os geneticistas começaram a admitir que a seleção pelo ambiente poderia afetar o grau com que um gene específico poderia se espalhar dentro de uma população¹²² (BOWLER, 2009, p. 325).

Um segundo aspecto da fusão que entendemos ser importante destacar é aquele relativo à integração do evolucionismo com as diversas disciplinas biológicas. Conforme vimos no capítulo anterior, a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural foi originalmente formulada por Charles Darwin (com Wallace tendo inferido, em paralelo, o princípio da seleção natural) e teve seu arcabouço conceitual condensado, em seus contornos gerais, em uma obra

¹²² Traduzido de BOWLER, 2009, p. 325: “*But by the 1920s, the situation had begun to change in a direction few would have anticipated. Genetics steadily undermined the plausibility of Lamarckism and orthogenesis by showing that there was no process by which acquired characters could be incorporated into the fixed units of heredity. It also showed that mutations were not directed along any predetermined path. Variation was effectively random, as Darwin had supposed, and studies of the genetics of whole populations increasingly suggested that the extreme saltationism advocated in the first flush of enthusiasm for the new science was untenable [...] Even the geneticists began to concede that selection by the environment might affect the degree to which a particular gene could spread within a population*”.

capital, o livro a *Origem das espécies*, publicado em 1859. A Síntese Evolutiva Moderna, por sua vez, viria a ser um conjunto teórico formulado por diversos pensadores e cientistas, repertoriado em diversos livros e artigos, ao longo de algumas décadas de intensa produção intelectual. Essas contribuições têm procedência em diversas áreas de estudo dos fenômenos biológicos, como sistemática, filogenia, biogeografia, morfologia, embriologia e paleontologia (MAYR, 1982). Esse recurso a conceitos e fatos com origem em diferentes teorias, sob o guarda-chuva da ideia de “Síntese”, permitiu, em larga medida, a integração dos diferentes ramos do conhecimento biológico às ideias evolucionistas, ramos esses que estavam, em larga medida, apartados das ideias darwinianas durante a segunda metade do século XIX (MAYR, 1982). Como resultado dessa integração do evolucionismo às diversas disciplinas biológicas, não sem razão Theodosius Dobzhansky (1973) enunciaria, algumas décadas depois, a célebre frase que “nada na biologia faz sentido, exceto à luz da evolução”, conforme aludimos anteriormente. Sob o ponto de vista daquilo que interessa à nossa reflexão, ao promover essa “transversalização” dos conceitos evolucionistas às explicações das diferentes áreas da biologia, a Síntese logrou abrir, a nosso juízo, vasos comunicantes para a disseminação das influências dos princípios da causalidade das ciências modernas e contemporâneas em direção às diferentes áreas de estudo dos fenômenos do mundo orgânico. Deveremos ter em mente, portanto, que a reconfiguração conceitual do evolucionismo que discutiremos adiante tenderá a transbordar suas consequências para essas diversas áreas da biologia, embora não teremos aqui espaço suficiente para adentrar nos detalhes sobre os impactos específicos em cada uma delas.

A terceira e última dimensão da ideia de fusão contida no termo “Síntese” que consideramos importante aludir é de ordem metodológica. Trata-se da fusão dos conceitos darwinianos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, de natureza sobretudo qualitativa, com métodos quantitativos da estatística das populações. Veremos com mais detalhes adiante que essa fusão começou nas duas primeiras décadas do século XX, fruto do trabalho dos biometristas, grupo de estatísticos de populações que há pouco mencionamos, que estudavam a frequência com que diferenças entre características quantificáveis dos indivíduos de uma população passavam de uma geração a outra. A ideia de *population thinking* darwiniana foi a base conceitual sobre a qual se procedeu essa aproximação dos métodos de matemática avançada com os conceitos da teoria de Darwin. Essa fusão viria a se consolidar nas mãos habilidosas de Fisher, Wright e Haldane – “the holy evolution’s trinity¹²³” –, nas décadas de

¹²³ Segundo Sarkar, 2004, p. 12, John Burdon Sanderson Haldane teria sido o responsável pela criação da alcunha de “santíssima trindade da evolução” para referir-se a ele próprio, a Ronald Fisher e a Sewall Wright. Essa

1920 e 1930 (SARKAR, 2004). Debruçar-nos-emos sobre ela com afinco adiante, dado que a matematização dos conceitos evolucionistas que ela permitiu é a reflexão principal deste capítulo e um dos pilares estruturantes de nosso trabalho.

As quatro obras da Síntese Evolutiva Moderna por nós selecionadas como fonte primárias – *Teoria Genética da Seleção Natural*, de Ronald FISHER, de 1930; *Evolução em populações mendelianas*, de Sewall Wright, de 1931; *As causas da evolução*, de John Burdon Sanderson Haldane, de 1932; e *Genética e a origem das espécies*, de Theodosius Dobzhansky, de 1937 – contemplam, em sua mais expressiva forma, as diversas dimensões de fusão que caracterizam a esse movimento intelectual. Há, indubitavelmente, outros importantes cientistas e pensadores que contribuíram, por meio de múltiplas publicações e aprimoramentos conceituais¹²⁴, para essa espécie de produção teórica coletiva que caracterizou a Síntese Evolutiva Moderna (HULL, 1974; HULL; RUSE, 1998; MAYR 1980; MAYR, 2002; SOBER, 1994; SOBER 2018). A análise epistemológica da Síntese na qual nos engajamos não se pretende, por isso, exaustiva. No entanto, após extenso trabalho de pesquisa bibliográfico preliminar, julgamos que o estudo das obras canônicas desses quatro indivíduos nos habilitaria a identificar, a contento, as contribuições mais significativas da Síntese para o desenvolvimento epistemológico do evolucionismo, sobretudo no que concerne à causalidade evolucionista e aos principais conceitos evolucionistas que são objeto de nossa reflexão – ancestralidade comum, mudança ao longo do tempo, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação (vide Quadro 4). As contribuições da Síntese à evolução desses conceitos

referência aparece na página 33 de *Causas da Evolução* (HALDANE, 1990): “*I can write of natural selection with authority because I am one of the three people who know most about its mathematical theory*”.

¹²⁴ Entendemos ser importante apresentar ressalva para o emprego que aqui fazemos do verbo “aprimorar”, para fazer referência ao resultado do trabalho dos pensadores da Teoria Sintética da Evolução sobre o arcabouço conceitual evolucionista. Nem sempre foram melhorias conceituais o que eles aportaram ao evolucionismo. Muitos desses pensadores foram responsáveis por importantes retrocessos no emprego dos conceitos evolucionistas, como, por exemplo, a associação direta criada entre o evolucionismo e ideias eugenistas. Ronald Fisher, por exemplo, fazia parte de um círculo de pensadores eugenistas britânicos, que gravitava em torno de uma congregação intitulada “*Eugenics Education Society of London*”. Ele participou dos “*International Eugenics Congress*”, uma série de três eventos internacionais organizados por aquela sociedade londrina, realizados entre 1912 e 1932, e que conglomeraram eugenistas de diversas partes do mundo sob a batuta de Leonard Darwin, filho de Charles Darwin e presidente de toda a série de encontros. Não é um objetivo deste trabalho adentrar na filosofia política, mas não deixa de ser anedótico constatar, nos anais desses congressos, num período de Entreguerras do Século XX, a presença, concomitante àquela dos eugenistas alemães, de ilustres cientistas e pensadores de outros países ocidentais com os quais a Alemanha nazista entraria em guerra – Estados Unidos, França, Reino Unido. São nomes que vão de Alexander Graham Bell a Winston Churchill. Para mais sobre o assunto, ver S., E. *The First International Eugenics Congress*. *Nature* 89, 558–561 (1912). Bem verdade, para Adrian Desmond e James Moore, tampouco Darwin escapa à acusação de eugenismo: “*O ‘Darwinismo Social’ é frequentemente considerado algo extrínseco, uma concretização indesejável adicionada ao corpo puro do darwinismo após os acontecimentos, manchando a imagem de Darwin. Mas seus cadernos deixam claro que competição, livre comércio, imperialismo, extermínio racial e desigualdade sexual estavam inseridos na equação desde o início – o ‘darwinismo’ sempre teve a intenção de explicar a sociedade humana*” (DESMOND; MOORE, 1991, p.9)

evolucionistas, sob a influência dos princípios da causalidade e da epistemologia verificacionista das ciências do período, serão, a partir de agora, nosso objeto de reflexão.

3.2 Origens da variação herdável

Conforme discutimos no Capítulo 2, a variação entre indivíduos de uma mesma espécie já havia sido reconhecida como evidência empírica por naturalistas anteriores a Darwin, a exemplo de Lamarck. Com vistas a buscar melhor entender as distinções conceituais que marcam o desenvolvimento epistemológico do princípio de variação populacional, colocaremos agora o questionamento que entendemos estar na origem dessa discussão e com o qual os naturalistas se teriam confrontado desde, pelo menos, o período do transformismo lamarckiano, a saber: “quais são as causas das variações herdáveis?” O escritor britânico Samuel Butler (1835-1902), em suas reflexões sobre o fenômeno evolutivo, nos dá a devida dimensão da importância desse questionamento: “a questão não diz respeito à evolução, mas à causa principal que levou à evolução dessa ou daquela forma. Para mim, parece que a ‘Origem da Variação’, seja qual for, é a única verdadeira ‘Origem das Espécies’”¹²⁵ (BUTLER, 1878, Capítulo XIII, p. 263).

Ao analisarmos as respostas historicamente apresentadas para essa pergunta, constatamos, de início, que, para Lamarck, “a causa principal da variação na estrutura é a variação na resposta dos organismos às necessidades sentidas, que, quando repetidas, tornam-se hábito e são passadas para as gerações posteriores como memória inconsciente”¹²⁶ (ALLEN, 2023, p. 272). Lamarck especulou, portanto, que os desejos dos animais de melhorar suas aptidões para a viver no ambiente que os cercam seriam dotados de uma força tal que seriam capazes de produzir modificações em seus descendentes e a transformação das espécies ao longo do tempo (FISHER, 1930, p. 12). No que tange a variação entre os indivíduos de uma

¹²⁵ A frase original de Samuel Butler é a que segue: “*The question is not concerning evolution, but as to the main cause which has led to evolution in such and such shapes. To me it seems that the ‘Origin of Variation’, whatever it is, is the only true ‘Origin of Species’*” (BUTLER, 1878, Capítulo XIII, p. 263). Butler foi um escritor satírico e artista plástico britânico, contemporâneo dos grandes naturalistas do século XIX. Possuía interesse particular pelos estudos biológicos. Suas reflexões alinhavam-se com as ideias de Lamarck, o que o fez dele um crítico mordaz de Darwin e do gradualismo da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural. Para mais detalhes, ver ALLEN, Barry. Samuel Butler’s contributions to biological philosophy. *Common Knowledge* 29:2, p. 251-279. Duke University Press, 2023. Independente da precisão (ou imprecisão) da resposta que Butler dava ao questionamento que ele próprio levantou, nos vemos obrigados a reconhecer que a reflexão por ele suscitada, sobre a relação de causalidade existente entre variação e evolução, está, sim, no âmago da tese evolucionista.

¹²⁶ Traduzido de ALLEN, 2023, p. 272: “*The primary cause of variation in structure is variation in the response of organisms to felt needs, which when repeated becomes habit and is passed to later generations as unconscious memory*”.

mesma geração de uma determinada espécie, Lamarck, dadas suas vinculações com uma racionalidade essencialista, as entendia como sendo imperfeições – cópias imperfeitas – no processo de reprodução das características essenciais que definem a espécie (BURKHARDT, 1977).

A interpretação de Darwin sobre o fenômeno da variação divergiu da de seus predecessores. Primeiramente, na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, a variação entre os indivíduos de uma mesma espécie deixa de ser vista como um desvio de um modelo ideal, para tornar-se a regra de apresentação das características dos seres vivos no mundo empírico. Essa ideia fundamenta o conceito de população, em particular, e o *population thinking*, em geral, na tese evolucionista darwiniana: indivíduos de uma determinada espécie coincidirão, em algumas de suas características, com outros indivíduos da mesma espécie, mas divergirão em muitas outras; consideradas algumas determinadas características para análise, esses diferentes subgrupos de indivíduos de uma mesma espécie constituirão, portanto, diferentes populações; ora, as diferentes populações poderão formar, ao longo do tempo, sob condições específicas, novas espécies (DARWIN, 2018). Assim, em Darwin, a variação dos indivíduos está na base da variação populacional, que, por sua vez, está na base da diversificação das espécies ao longo do tempo.

Darwin buscou enunciar, tanto na *Origem das Espécies* (1859) quanto na *Variação de Animais e Plantas sob Domesticação* (1868), algumas regularidades que guiariam as variações herdáveis. Ele apontou como sendo as principais causas para a variação (i) as mudanças nas condições de vida (como clima, mudanças geológicas, etc.) e (ii) o aumento da disponibilidade de alimento (FISHER, 1930, p.2-4). Darwin aceitou, ainda, a ideia de existência de influência do hábito e do uso e desuso dos caracteres na produção de variações herdáveis (DARWIN, 2018, p. 245). Darwin assumiu, por fim, a variação como sendo uma “tendência” contínua, bem como supôs que as causas principais da variação atuassem em momento anterior à concepção da prole. Os excertos a seguir ilustram como Darwin apresenta essa ideia de variação em sua teoria:

Qualquer parte ou órgão que se desenvolva de forma ou em tamanho extraordinário, em comparação à mesma parte ou órgão em uma espécie aparentada, deve ter passado por uma extraordinária quantidade de modificação desde o momento em que o gênero surgiu, o que permite entender por que ela com frequência é mais variável do que outras partes, pois a variação é um processo longo, contínuo e lento, e, nesses casos, a seleção natural não tem tempo hábil para sobrepujar a tendência a variações subseqüentes e à reversão a um estado menos modificado (DARWIN, 2018, p. 247)

Discute-se em qual período da vida as causas de variabilidade, não importa quais sejam, costumam atuar: se no momento da concepção do embrião ou se no estágio inicial ou final de seu desenvolvimento [...] De minha parte, inclino-me a pensar que a causa mais frequente de variabilidade deve ser atribuída à afecção dos elementos masculino e feminino antes do ato de concepção (DARWIN, 2018, p. 50).

Temos razões para crer que alterações das condições de vida, ao incidirem em especial no sistema reprodutor, causam ou intensificam a variação (DARWIN, 2018, p. 145).

Quando se debruçou, mais detidamente, sobre essas inferências darwinianas relativas à variação dos seres vivos, Fisher (1930) recuperou algumas correspondências de Darwin endereçadas a seus amigos, datadas de períodos anteriores à *Origem das espécies*. Essas cartas nos evidenciam que Darwin, de longa data, mesmo antes da *Origem*, atribuía pesos diferentes à importância dessas diferentes regularidades por ele inferidas para o princípio de variação. As mudanças nas condições de vida, por exemplo, seriam para Darwin responsáveis por explicar um pouco da variabilidade dos seres vivos, como ela se apresenta a nossos olhos cotidianamente; mas essa "mera variabilidade (que faz que a criança não se assemelhe de forma muito próxima a seus pais)" desempenhava um papel muito pequeno na "formação de uma variante nova ou de novas espécies" (DARWIN, 1856, *Life and Letters*, ii, 87. In: FISHER, 1930, p. 1). Darwin supôs, por isso, que existiriam causas mais importantes para o processo evolutivo. No entanto, ele confessava desconhecer e não dispor de evidências para enumerar essas causas. Diante disso, podemos com segurança afirmar, de forma direta, que Darwin jamais alcançou uma explicação válida e efetiva¹²⁷ sobre quais são as causas profundas das variações herdáveis que darão origem à variação das populações e das espécies, tampouco sobre o momento em que essas causas incidiriam, conforme ele mesmo admitiu:

Nossa ignorância em relação às leis de variação é profunda. Em menos de um caso em cem poderíamos tentar explicar por que esta ou aquela parte difere, em maior ou menor medida, da mesma parte nos progenitores. Mas todas as comparações sugerem que as mesmas leis teriam atuado na produção de diferenças menores entre espécies de um mesmo gênero (DARWIN, 2018, p. 245).

Com o recrudescimento dos estudos genéticos no início do século XX, a origem das variações herdáveis passou a ser explicada dentro de uma outra rede de conceitos, no centro da qual está a importantíssima ideia de "mutações". A palavra "mutações" não é inteiramente nova, uma vez que já havia sido utilizada em explicações biológicas previamente à genética mendeliana. Lamarck, por exemplo, afirmava que "mutações [nos animais] são muito mais vagarosas do que aquelas que se operam nos vegetais" (LAMARCK, 2022, p. 169). Darwin, por sua vez, mencionava que os registros fósseis são uma "evidência da lenta e quase insensível

¹²⁷ A Teoria da Pangêne, conforme vimos, não se configurou como uma explicação válida e efetiva para a variação.

mutação das formas específicas” (DARWIN, 2018, p. 448). Lamarck e Darwin, contudo, não definiram com precisão o significado de mutação em seus escritos. É possível minimamente deduzir que, nos dois casos, o termo mutação possa ter uma conotação genérica de mudança. O que podemos assumir com um grau de certeza muito superior é que a ideia de mutação que esses dois naturalistas tinham em mente é, decerto, distinta daquela pretendida pelos geneticistas do início do século XX.

Conforme antecipamos em nossa seção introdutória a este capítulo, os geneticistas pioneiros como Hugo de Vries, Carl Correns e Erich von Tschermak, responsáveis pela redescoberta e revalorização histórica da teoria de Gregor Mendel, atribuíam às mudanças responsáveis pela evolução um caráter “saltacionista”, caracterizado por grandes mutações que modificariam as características diferenciais dos seres vivos e ensejariam a formação de novas espécies em largos saltos (AGUTTER; WHEATLEY, 2008). É corolário dessa visão saltacionista do fenômeno evolutivo a conclusão de que, para os primeiros geneticistas, o conceito de mutação assumia um significado associado à ideia de “macromutações”, ou seja, de grandes modificações genéticas produtoras de grandes mudanças herdáveis.

Com o avançar dos estudos genéticos, as evidências empíricas, sobretudo provenientes de análises experimentais laboratoriais, demonstraram progressivamente que as macromutações são, na quase totalidade dos casos, patológicas ou letais para os organismos nos quais elas ocorrem, e, ainda, com alta probabilidade de serem consideradas deletérias caso ocorressem em condições de vida selvagem (FISHER, 1930, p. 41; WRIGHT, 1931, p. 142-143). Se as macromutações fossem responsáveis por determinar o curso da mudança evolutiva, os geneticistas seriam obrigados a aceitar uma conclusão a que seus experimentos laboratoriais lhes impunham, aquela de que, como nos alerta Fisher (1930, p. 18-19), “o prospecto evolutivo da pequena mosca das frutas *Drosophila* seria deplorável”. O destino da *Drosophila* em vida selvagem não está, no entanto, fadado ao seu apocalipse. Ademais, os estudos experimentais vinham demonstrando, com frequência crescente, que pequenas variações de genes¹²⁸, assim como as macromutações, também se segregavam de forma mendeliana (WRIGHT, 1931, p.99). Em consequência, a teoria De Vries enfraquecia-se progressivamente, na medida em que a via saltacionista do processo evolutivo por ele proposta deixava cada vez mais de ser considerada via *default*, para estar associada a casos aberrantes:

A maioria das mutações de De Vries revelou-se como sendo aberrações cromossômicas, de importância evolutiva ocasional, sem dúvida, ao aumentar o

¹²⁸ Sobre a origem do conceito de genótipo, ver, adiante, a nota de rodapé n. 129.

número de genes e levar à esterilidade de híbridos e, assim, ao isolamento, mas de importância secundária em relação às mutações genéticas no que diz respeito às mudanças de características¹²⁹ (WRIGHT, 1931, p.99).

Ao mesmo tempo, no que tange à frequência das mutações, o acúmulo de evidências já alcançado no início do século XX demonstrava que a recombinação sistemática de genes durante a meiose da reprodução sexuada seria, de fato, o principal mecanismo responsável pela promoção da variação populacional em plantas e animais¹³⁰ (FISHER, 1930). Por meio desse mecanismo, pequenas e múltiplas alterações gênicas, que ocorrem pontualmente em indivíduos de uma espécie, são difundidas gradualmente na população, promovendo uma reestruturação no pool gênico populacional, de tal sorte que, para Wright (1931, p. 127), "parece que as diferenças reais entre raças geográficas naturais e subespécies são, em grande parte, não adaptativas do tipo esperado a partir de uma deriva aleatória¹³¹". Dada a eficiência do mecanismo de recombinação genética da reprodução sexuada no espalhamento da variação (e, como veremos adiante, a ausência de diluição significativa das novas características com a transmissão da hereditariedade via modelo de *particulate inheritance*), não se fazia mais necessário assumir, para explicar toda a evidente variação das populações, que a ocorrência de mutações seria um fenômeno de elevada frequência. Com a Síntese Evolutiva Moderna, portanto, a origem da variação herdável, que serve de substrato para a evolução das espécies, passa a ser vista como sendo oriunda, não de macromutações que clivam os caminhos da evolução, mas sim de mutações mínimas e gradualmente espalhadas por um processo de recombinação e deriva populacional das alterações gênicas.

Esse desenvolvimento conceitual do princípio de variação, que passa a ser diretamente associado à forma como são produzidas e espalhadas as mutações, será a *clé de voûte* que viria a permitir a conciliação, pouco a pouco, e sob o guarda-chuva conceitual do *population thinking* darwiniano, de dois campos de estudos promissores para a hereditariedade, mas que eram até

¹²⁹ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 99: "Most of DE VRIES' mutations have turned out to be chromosome aberrations, of occasional evolutionary significance, no doubt, in increasing the number of genes and in leading to sterility of hybrids and thus isolation, but of secondary importance to gene mutation as regards character changes".

¹³⁰ A recombinação sistemática de genes durante a meiose da reprodução sexuada procede-se, entre outros mecanismos, por *crossing-over*, uma mistura de partes do material genético materno e paterno, contido em cromossomos, que resulta na alocação aleatória nos descendentes de apenas metade dos cromossomos de cada um dos pais. Ressalva deve ser feita ao fato de que esses mecanismos de intercâmbio gênico são importantes em espécies que se reproduzem de forma sexuada, como maioria das plantas e animais. Em vírus, procariotos e outros seres que se reproduzem exclusiva ou majoritariamente de forma assexuada, há outros mecanismos de intercâmbio genético, como a transferência unilateral de genes. A importância da frequência das mutações na produção de variabilidade populacional é, nestes últimos casos, maior.

¹³¹ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 127: "It appears that the actual differences among natural geographical races and subspecies are to a large extent of the nonadaptive sort expected from random drifting apart".

então opostos: (i) o campo de estudos estatísticos das variações populacionais, na linha dos trabalhos dos biometristas, que recorriam a uma matematização do processo de transferência de atributos dos organismos de uma geração a outra; e (ii) o campo de estudos experimentais das interações moleculares genéticas, conduzidos pelos geneticistas em seus laboratórios, que descrevem os mecanismos que produzem as heranças genéticas¹³² (AYALA, 1982). Com a validação procedida pela Síntese dessa linha de argumentação que atribuiu uma origem genética ao fenômeno da variação, a causa das variações herdáveis passou a ser associada, necessariamente, ao conceito de mutações. A partir da Síntese, as mutações são assumidas como sendo responsáveis por manter o estoque de variação genética dos organismos, estoque este que servirá de fonte para as mudanças evolutivas das espécies (FISHER, 1930, p. 48).

Diante do que precede, concluímos que a Síntese Evolutiva Moderna encontrou no conceito de mutações, com base genética, as origens da variação herdável. Embora sua importância para o evolucionismo tenha se tornado inconteste, o conceito de mutações ainda não desfrutará, mesmo após a Síntese, de um significado único. Essas divergências semânticas permanecem até tempos atuais¹³³. Adotaremos, para os fins reflexivos deste trabalho, uma definição para o conceito de mutação adaptada de Fisher (1930, p. 12), que leva em conta a dimensão causal que nos interessa ressaltar: mutação significa, simplesmente, o processo de iniciação de qualquer nova variação herdável¹³⁴. Tendo em mente a definição que adotamos e a reconfiguração do princípio de variação procedida pela Síntese Evolutiva Moderna, concluímos que toda e qualquer causa de variação deve, necessária e primeiramente, ser um fator capaz de produzir ou influenciar a ocorrência das mutações. As conclusões que alcançamos nos permitem, a esta altura, ousar reescrever a frase de Samuel Butler com que

¹³² Introduzimos, aqui, menção preliminar às ideias de matematização e mecanização dos conceitos evolucionistas, as quais voltaremos a aprofundar adiante.

¹³³ Merece breve menção, embora ultrapasse o escopo temporal de nossa reflexão, o fato de que ainda existem, entre os cientistas e filósofos da biologia atuais, diferentes definições para o termo mutações, mesmo em meios técnico-especializados da genética. É exemplo a referência, na literatura especializada, a mutações como fenômeno relacionado à replicação do material genético *vis à vis* a mutações como fenômeno relacionado à expressão da informação genética. Para maiores detalhes, ver, por exemplo, INGE-VECHTOMOV, S. G. From the mutation theory to the theory of the mutation process. In: *Modern problems of genetics, radiobiology, radioecology and evolution*. Joint Institute for Nuclear Research, v. 2, p. 25-36, 2005. Em comum a essas definições está o reconhecimento de que as mutações que acontecem, ao nível dos genes (mutações genéticas), são aquelas que mais comumente estão na origem do processo evolutivo das espécies. É caso-modelo do tipo de mutação que se busca abarcar com essa definição a mudança de um único gene (unidade conceitual de transmissão hereditária da informação) em um novo tipo de gene, que ocupa o mesmo *locus* na estrutura cromossomal.

¹³⁴ A definição original em FISHER, 1930, p. 12, é a que segue: “[...] it will be conveniente to use the term ‘mutation’, to which many meanings have at different times been assigned, to denote simply the initiation of any heritable novelty”.

começamos nossa reflexão nesta seção, que passaria, às luzes da Síntese, a ser lida da seguinte forma: “a origem genética da variação, seja qual for, é a única verdadeira origem das espécies”.

3.3 Da variação fenotípica à variação genética

Conforme discutimos no Capítulo 2, tendo recorrido a evidências empíricas advindas de suas próprias observações da vida selvagem, realizadas durante e após a viagem a bordo do *HMS Beagle*, e das observações feitas por agricultores e por criadores de animais em condições de domesticação (apresentadas sobretudo no Capítulo I – Variação sob domesticação – e no Capítulo II – Variação na natureza da Origem das espécies da *Origem das espécies*), Darwin inferiu a existência do princípio de variação populacional como uma pré-condição causal para a ocorrência do fenômeno evolutivo. A variabilidade a qual Darwin faz referência com esse princípio é aquela das características físicas estruturais observáveis na anatomia e na fisiologia dos organismos, que são distinguíveis, selecionáveis e categorizáveis por zoólogos, botânicos, anatomistas e naturalistas em geral quando da execução de seus estudos e classificações taxonômicas. Triviais ou importantes, singulares ou comuns, são as características observáveis, ditas fenotípicas¹³⁵, o foco da atenção na tese darwiniana, como notamos no excerto abaixo:

As diferentes partes homólogas do corpo, que, diga-se de passagem, no estágio embrionário inicial são iguais, parecem suscetíveis a variar em concomitância, como mostra o fato de os lados direito e esquerdo do corpo variarem em conjunto e as pernas frontais e traseiras variarem com os dentes e a mandíbula inferior, que, na opinião de alguns, é homóloga aos membros. Não tenho dúvida de que a seleção natural é capaz de dominar essas tendências de maneira mais ou menos completa. Supondo que houvesse uma família de cervos com chifres em apenas um dos lados da cabeça e essa característica se mostrasse muito útil à prole, é provável que a seleção natural a tornasse permanente (DARWIN, 2018, p. 218).

A genética mendeliana, por sua vez, enunciará que qualquer característica fenotipicamente manifestada de um organismo, seja ela qualitativamente categorizada ou quantitativamente medida, dependerá, necessariamente, da constituição genética do indivíduo (FISHER, 1930, p. 30). A variação populacional, de base fenotípica em Darwin, torna-se, graças a Mendel, em uma variação populacional de base genética. A variabilidade prevista para a

¹³⁵ Darwin, ao fazer referência às características físicas estruturais observáveis na anatomia e na fisiologia dos organismos, não enuncia, de forma explícita, o conceito de fenótipo. O conceito de fenótipo viria a ser definido somente no início do século XX, com o desenvolvimento dos estudos genéticos, para marcar uma oposição à ideia de genótipo. A distinção entre fenótipo (características físicas observáveis) e genótipo (constituição genética, de base molecular, aferíveis por meio de instrumentos em ambiente laboratorial, mas inobserváveis a olho nu) foi enunciada pelo geneticista dinamarquês Wilhelm Johannsen. Para mais detalhes, ver JOHANNSEN, Wilhelm. The genotype conception of heredity. *The American Naturalist*, v. 45, n. 531, p. 129-159, 1911.

constituição genética dos indivíduos de uma população é ainda mais vasta que a variabilidade das manifestações fenotípicas das características por ela influenciadas, dado o reconhecimento pela genética mendeliana da existência de múltiplos heterozigotos para um mesmo gene e da superveniência de fenômenos relacionais entre esses genes, como a dominância e as correlações gênicas (WRIGHT, 1931).

A abordagem matemática de Fisher, Wright e Haldane da genética mendeliana, de base probabilística, permitiu uma expansão ainda maior do espectro de possíveis variações da constituição genética de uma população. Isso ocorre porque, para eles, ao considerarmos a manifestação fenotípica de uma dada característica geneticamente determinada, devemos levar em consideração diversos fatores que multiplicam as possibilidades de variabilidade genética. São alguns desses fatores multiplicadores da variabilidade genética: os heterozigotos para um determinado gene que se manifestam não apenas em uma dada geração, mas também em diferentes gerações consecutivas da mesma população; a potencialidade das combinações genéticas possíveis entre os alelos desse gene, dadas as múltiplas possibilidades de acasalamentos abertas a um indivíduo com suas contrapartes que pertencem a essa população; a existência de múltiplos genes alternativos, a influenciar a manifestação da característica fenotípica em questão; as combinações possíveis de manifestações fenotípicas dessa característica, permitidas pelas diferentes interações entre os genes que as influenciam; o grau de variabilidade na manifestação dessa característica, de acordo com a interação desses genes com as condições ambientais flutuantes; entre outros fatores (FISHER, 1930, p. 30-34). Para uma dada característica escolhida, o universo de possibilidades de variações da constituição dos genes e sua multitude de interações mostra-se, portanto, muito elevado, incomensuravelmente maior que o conjunto de variação fenotípica observável e catalogável por naturalistas, como foi o caso do próprio Darwin, resultando no fato de que “consequentemente, não é um refinamento supérfluo definir o elemento puramente genético na variância, da forma que ele existe objetivamente, como uma característica estatística da população, diferente da variância derivada da medição direta dos indivíduos”¹³⁶ (FISHER, 1930, p. 34). Se formos ainda mais adiante nessa reflexão e tomarmos, sob essa perspectiva da matemática probabilística da Síntese, o conjunto de todas as características de uma determinada espécie, poderemos, sem

¹³⁶ Traduzido de FISHER, 1930, p. 34: “*It is consequently not a superfluous refinement to define the purely genetic element in the variance as it exists objectively, as a statistical character of the population, different from the variance derived from the direct measurement of individuals*”. “Loci”, no singular, “locus”, no plural, corresponde à posição específica na qual um gene ou sequência de DNA estão localizados no conjunto do material genético de um indivíduo (BROOKER, 2024, p. 25)

difficuldade, concluir pela existência de uma infinidade de possibilidades de constituições genéticas dos indivíduos de uma dada espécie, uma vez que "basta uma taxa de mutação muito moderada em uma grande população para que o número de *loci* não fixados se torne enorme"¹³⁷ (WRIGHT, 1931, p.121). Isso explica o fato empírico, há longo tempo constatado pelos naturalistas, que, como vimos, está na base das teorias transformistas e evolucionistas, aquele de jamais encontrarmos dois indivíduos de uma população exatamente iguais em todas as suas características. Mais do que isso, as inferências estatísticas feitas a partir das medidas de distribuições populacionais permitem assumir como crível a hipótese de que a variação genética de maioria das populações é tamanha que, mesmo na ausência de novas mutações, o processo de mudanças ao longo do tempo das espécies continuaria prolongadamente:

Talvez valha a pena neste ponto considerar a imensa diversidade da variabilidade genética disponível em uma espécie que segrega mesmo para apenas 100 fatores diferentes. O número total de genótipos verdadeiramente homozigotos nos quais esses fatores podem ser combinados é 2^{100} , o que exigiria 31 dígitos na notação decimal. O número, incluindo heterozigotos, exigiria 48 dígitos. Assim, uma população de mil milhões ou um bilhão de indivíduos só pode exibir a fração mais insignificante das combinações possíveis, mesmo que nenhum indivíduo seja geneticamente idêntico a outro. Embora as combinações que ocorrem sejam apenas uma fração mínima daquelas que poderiam, com igual probabilidade, ter ocorrido e que podem ocorrer, por exemplo, na próxima geração, há além dessas uma vasta região inexplorada de combinações, nenhuma das quais pode ser esperada a menos que o sistema de proporções genéticas seja continuamente modificado na direção certa. Além disso, existem milhões de diferentes direções nas quais tal modificação pode ocorrer, de modo que, mesmo sem o surgimento de novas mutações, todas as espécies ordinárias já devem possuir em si mesmas as potencialidades para as mais variadas modificações evolutivas. Muitas vezes se tem dito, e com razão, que sem mutação o progresso evolutivo, qualquer que seja a direção que tome, acabará por estagnar devido à falta de possíveis melhorias adicionais. O que não se tem percebido com frequência é o quão distante a maioria das espécies existentes deve estar de tal estado de estagnação, ou quão facilmente, com apenas cem fatores, uma espécie pode ser modificada para uma condição consideravelmente fora do alcance de sua variação anterior, e isso em um grande número de características diferentes¹³⁸ (FISHER 1930, p. 95-96).

¹³⁷ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 121: "It only requires a very moderate mutation rate in a large population for the number of unfixed loci to become enormous".

¹³⁸ Traduzido de FISHER, 1930, p. 95-96: "It is perhaps worth while at this point to consider the immense diversity of the genetic variability available in a species which segregates even for only 100 different factors. The total number of true-breeding genotypes into which these can be combined is 2^{100} , which would require 31 figures in the decimal notation. The number including heterozygotes would require 48 figures. A population of a thousand million or a billion individuals can thus only exhibit the most insignificant fraction of the possible combinations, even if no two individuals are genetically alike. Although the combinations which occur are in all only a minute fraction of those which might with equal probability have occurred, and which may occur, for example, in the next generation, there is beyond these a great unexplored region of combinations none of which can be expected to occur unless the system of gene ratios is continuously modified in the right direction. There are, moreover, millions of different directions in which such modification may take place, so that without the occurrence of further mutations all ordinary species must already possess within themselves the potentialities of the most varied evolutionary modifications. It has often been remarked, and truly, that without mutation evolutionary progress, whatever direction it may take, will ultimately come to a standstill for lack of further possible improvements. It has not so often been realized how very far most existing species must be from such a state of stagnation, or how

3.4 A perspectiva estatística do conceito de populações

Conforme afirmamos anteriormente, alcançamos a conclusão, com Darwin, de que a variação dos indivíduos está na base da variação populacional, que, por sua vez, está na base da diversificação das espécies ao longo do tempo.

No que concerne à variação populacional – evidência inferida por zoologistas, botânicos e outros naturalistas, a partir de observações empíricas das características visíveis de animais e plantas, e incorporado por Darwin como um dos pilares da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural – a Síntese Evolutiva Moderna viria a apresentar uma série de novas evidências empíricas demonstrativas do conceito. Com o desenvolvimento dos estudos experimentais da genética, no início do século XX, a unicidade dos indivíduos, constatada por Darwin como existentes em nível de fenótipo, foi empiricamente comprovada, por análises químicas em ambiente laboratorial, como também existente em nível de constituição genética dos indivíduos. Com a Síntese, portanto, cada indivíduo de uma população passa a ser entendido como sendo fenotípica e geneticamente único. Ademais, nos indivíduos que se reproduzem de forma sexuada, constatou-se que o fenômeno de meiose, que ocorre no momento da concepção dos novos embriões, seria o principal responsável por essa variação individual que produz a variação populacional, na medida em que combina nos descendentes as variações herdáveis da geração parental. Dessa forma, evidências relacionadas ao fenômeno da meiose vieram a dar razão, ao menos parcialmente, a uma suposição aproximativa de Darwin, alcançada pelos caminhos tortuosos da Teoria da Pangênese, aquela de que o momento em que se produziria a variabilidade de plantas e animais poderia ser situado no “*ato de concepção*” (DARWIN, 2018, p. 50).

Dando continuidade em seu encadeamento lógico, Darwin postulou, ainda, conforme vimos, que a variação das populações ao longo das gerações constitui, em essência, o próprio fenômeno evolutivo a ser explicado. Embora “população” seja um dos conceitos mais mencionados na *Origem das espécies*, porque importante, Darwin não o define de forma precisa, explícita e rigorosa em nenhum momento do texto. Essa lacuna, em termos de precisão conceitual, não será negligenciada pela Síntese Evolutiva Moderna, tendo sido por ela diretamente abordada.

easily with no more than one hundred factors a species may be modified to a condition considerably outside the range of its previous variation, and this in a large number of different characteristics”.

Ernst Mayr¹³⁹ (2002, p.84) buscou nos aportar maior precisão à ideia que fundamentaria o “population thinking” darwiniano, tendo ele enunciado que o conceito poderia ser entendido da seguinte forma: “Uma população local (deme) consiste na comunidade de indivíduos de uma espécie, em uma determinada localidade, potencialmente capazes de se reproduzirem¹⁴⁰”. Uma definição desse tipo reconhece as evidências científicas em torno da importância da reprodução sexuada para o espalhamento das informações genéticas em populações de plantas e animais, deixando essa ideia mais explícita, se compararmos com a forma como ela havia sido apresentada por Darwin. Mesmo se assumirmos que a noção de população, em Darwin, se conformaria à definição delineada por Mayr, ainda assim essa definição não comporta a explicação de alguns importantes fenômenos empíricos.

De início, já podemos mencionar que a exigência de que indivíduos de uma mesma população sejam capazes de potencialmente se reproduzirem e gerarem descendentes férteis exclui do escopo da definição as espécies cuja reprodução é exclusiva ou majoritariamente assexuada. Dada as pretensões generalizantes que a Síntese buscou para o conceito de população, que, idealmente, deveria contemplar todas as populações de seres vivos, a associação direta criada na definição com a reprodução sexuada mostrar-se-ia, portanto, em alguns aspectos, limitante.

Se analisarmos a definição por uma outra perspectiva, do ponto de vista territorial, notaremos que o conceito é efetivo na explicação de casos de especiação em territórios isolados. No entanto, quando tratamos de grandes territórios, sem barreiras geográficas detectáveis, onde a formação de novas espécies também ocorre, o requisito de isolamento geográfico torna-se por demais restritivo. Essa restrição agrava-se quando levamos em conta que as evidências decorrentes dos estudos genéticos populacionais nos demonstram que é justamente nas franjas das grandes populações, espalhadas por extensos territórios, sem barreiras geográficas evidentes, que a variabilidade que serve de substrato para especiação é mais intensa (FISHER, 1930, Capítulo IV). Esforços para assegurar precisão ao conceito de população por meio do aporte de condicionantes qualitativos, como procedeu Mayr, nos parecem, portanto,

¹³⁹ Ernst Mayr (1904-2005) é um evolucionista cujos trabalhos tornaram-se influentes na fase pós-1940 da Síntese Evolutiva Moderna. Ele não está, portanto, entre os evolucionistas que estudaremos como fontes primárias. Trouxemos Mayr para nossa reflexão neste momento pela importância que ele viria a adquirir nas discussões sobre o “population thinking” darwiniano.

¹⁴⁰ A frase original de MAYR, 2002, p. 84 é a que segue: “*a local population (deme) consists of the community of potentially interbreeding individuals of a species at a given locality*”.

insuficientes para o alcance do rigor conceitual necessário para uma noção tão capital para a tese evolucionista.

No início do século XX, um grupo de cientistas liderados por Karl Pearson, dando continuidade a um trabalho iniciado nas duas últimas décadas do século XIX pelo denominados biometristas (“biometricians”), começou a aplicar técnicas estatísticas ao estudo de populações de seres vivos em condições reais (HULL, 1988). Nessa abordagem, as características fenotípicas observáveis e quantificáveis, a serem escolhidas como critérios definidores de uma espécie, recebiam um tratamento por meio de métodos de matemática estatística avançada. Nesse sistema, o perfil de uma dada população passou a ser definido de acordo a distribuição estatística de frequência das características mensuráveis estudadas, em termos de valores médios, em uma curva de normalidade, com desvios em torno da média populacional. Esse desvio médio, estatisticamente apresentado sob a denominação de variância, apreende com justeza a ideia de variação na população em estudo. Para cada outra característica ou conjunto de outras características escolhidas para a análise, as amostras de indivíduos de uma espécie formam subconjuntos diferentes da própria espécie, ou seja, populações diferentes, sendo possíveis análises comparativas de múltiplas variáveis populacionais e inferências estatísticas em múltiplos níveis. Com os biometristas e seus métodos estatísticos, portanto, tornou-se possível e viável aprimorar a categorização das populações com base em critérios qualitativos associados a variáveis quantificáveis, por meio da aplicação de conceitos fundamentais da teoria matemática dos conjuntos. É na esteira dessa abordagem estatística do conceito de população que podemos localizar os trabalhos de Ronald Fisher, John Haldane e Sewall Wright, que lograram construir uma ponte conceitual que permitiria enfrentar uma dificuldade com que se deparava a genética mendeliana desde sua origem:

A dificuldade parece estar na tendência de ignorar o fato de que o processo evolutivo está preocupado, não com os indivíduos, mas com a espécie, uma rede intrincada de matéria viva, fisicamente contínua no espaço-tempo, e com modos de resposta às condições externas que, ao que parece, só podem ser relacionados à genética dos indivíduos como consequências estatísticas destes últimos¹⁴¹ (WRIGHT, 1931, p. 98).

Dessa forma, com a matematização proposta pela Síntese, viabilizou-se a transposição dos conceitos genéticos, formulados tendo como referência o indivíduo, para uma explicação evolutiva cuja referência é uma categoria de grupo, a população. Essa abordagem adicionou

¹⁴¹ Tradução do autor de WRIGHT, 1931, p. 98: “*The difficulty seems to be the tendency to overlook the fact that the evolutionary process is concerned, not with individuals, but with the species, an intricate network of living matter, physically continuous in space-time, and with modes of response to external conditions which it appears can be related to the genetics of individuals only as statistical consequences of the later*”.

maior rigor metodológico aos estudos evolutivos de populações reais e permitiu uma nova série de inferências empíricas. Com efeito, esses benefícios mostraram-se crescentes desde a Síntese, à medida em que se desenvolveram novas ferramentas estatísticas (e ainda continuam a se desenvolver, como os recursos computacionais). A história do desenvolvimento conceitual do evolucionismo nos aponta, portanto, que alternativas que buscaram refinar a definição de população com critérios de ordem quantitativa se mostraram, a nosso juízo, mais auspiciosas que a via dos critérios qualitativos, como aquela escolhida por Mayr.

Diante do que vimos nesta seção e nas seções que a precedem, podemos, com recurso aos conceitos de variação e população fundamentados sob bases matemáticas sólidas (FISHER, 1930; HALDANE, 1990; WRIGHT, 1931), afiançar que, com a reconfiguração conceitual da Síntese, (i) variância torna-se a medida estatística utilizada para especificar, quantitativamente, a variação observada nas aferições das características populacionais; (ii) a variação populacional é, em larga medida, fruto da variação genética; (iii) a variação genética não se restringe à mera variação dos genes; e, por fim, (iv) os limites e possibilidades para a variação genética populacional marcham na direção da intangibilidade, à medida que o número de genes direta e indiretamente envolvidos na constituição das características dos organismos aumenta cumulativamente com o curso da evolução de uma dada espécie.

3.5 Encadeamento causal mutação-evolução

No estudo dos fenômenos biológicos, a ideia de “mudança”, quando associada às características dos seres vivos, pode assumir diferentes significados. Para nossa reflexão, uma importante distinção deve ser feita entre a mudança das características de um indivíduo, que se procede ao longo de seu ciclo individual de vida, e a mudança das características das espécies, que se procede ao longo das gerações. Entendemos que esses dois tipos de “mudança” não são, sob o ponto de vista da lógica evolutiva, conceitos necessariamente associados, tampouco mutuamente excludentes. Eles podem, ao menos em princípio, estar conectados sob o ponto de vista lógico, desde que se atenda ao pré-requisito causal que exige que as mudanças pontuais que se procedem nos indivíduos ao longo de seu ciclo de vida provoquem, de alguma forma, mudanças que persistam ao longo do tempo nas características gerais da espécie a qual ele pertence. Dito de outra forma, com uso dos conceitos com que temos trabalhado, caso as mudanças que se procedem no indivíduo ao longo de seu ciclo de vida configurem-se como variações herdáveis para a população a que ele pertence, as novas características por ele

desenvolvidas poderiam, sob o ponto de vista lógico, ao menos em teoria, resultar em mudanças nas características das espécies ao longo do tempo, tanto na via da anagênese quanto na via da cladogênese¹⁴².

Reflexões desse tipo, sobre o encadeamento causa-efeito entre as ideias de variação e evolução, nos interessam, ainda que procedidas em termos meramente abstratos, dado que, de nossas leituras, pudemos observar a existência de abordagens diferentes da relação variação-evolução em Darwin e nos pensadores da Síntese Evolutiva Moderna. Uma importante ilustração dessas diferentes perspectivas fica evidente com uma análise dos diferentes entendimentos sobre o princípio de herança das características adquiridas pelo uso e desuso. Recorda-se que, como vimos, esse princípio foi considerado por Lamarck, Darwin e muitos outros naturalistas do século XIX como sendo um dos mecanismos responsáveis pela variação, simultaneamente, de indivíduos e das espécies (DARWIN, 2018, p. 245). Fisher (1930, p. 12) define com precisão o modelo de argumentação que fundamenta a ideia de herança dos caracteres modificados pelo uso e desuso:

O poder de adaptação pode ser amplamente observado, tanto em plantas quanto em animais, por meio do qual órgãos específicos, como músculos ou glândulas, respondem com maior atividade e aumento de tamanho quando lhes são feitas exigências fisiológicas adicionais. Pode-se sugerir, como fez Darwin, que essas respostas de maior atividade funcional induzem, ou são acompanhadas por mutações de um tipo que tende a aumentar o tamanho ou a atividade do órgão em questão nas gerações futuras, mesmo que nenhuma demanda adicional seja feita sobre a atividade desse órgão¹⁴³ (FISHER, 1930, p. 12)

Conforme também vimos, os pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, que com os estudos genéticos passaram a melhor conhecer as causas profundas da variação, viriam a contrapor-se ao princípio de herança das características adquiridas. Para eles, as mudanças dos indivíduos no curso de suas vidas (ontogenia dos organismos, quando considerados

¹⁴² Discutiremos, no Capítulo 4, os conceitos de anagênese e cladogênese. Para melhor entendimento deste parágrafo, antecipamos suas definições. Anagênese diz respeito à evolução de uma linhagem de espécie desde o ancestral comum até sua forma atual, recuperada pela recomposição da trajetória dessa linhagem da base até o topo da árvore da filogenia. Cladogênese, por sua vez, refere-se ao processo de ramificação das categorias da árvore da filogenia em novos troncos de seres vivos, resultando na diversificação das espécies (especiação) e das demais categorias taxonômicas.

¹⁴³ Traduzido de FISHER, 1930, p. 12: “A power of adaptation may be widely observed, both among plants and animals, by which particular organs, such as muscles or glands, respond by increased activity and increased size, when additional physiological calls are made upon them. It may be suggested, as it was by Darwin, that such responses of increased functional activity induce, or are accompanied by, mutations of a kind tending to increase the size or activity of the organ in question in future generations, even if no additional calls were made upon this organ's activity”.

individualmente) seriam explicáveis pela plasticidade fenotípica que a multiplicidade de genes e de alelos de um mesmo gene permite, conforme nos recorda Wright (1931, p. 147):

A adaptabilidade individual é, de fato, distintamente um fator de equilíbrio evolutivo. Não é apenas de grande importância como um fator de evolução ao atenuar os efeitos da seleção e mantê-los dentro de uma ordem não muito grande em comparação com $1/4N$ e U , mas é, talvez, o principal objetivo da seleção. A evolução de organismos complexos depende da obtenção de combinações gênicas que determinam um repertório variado de respostas adaptativas das células em relação às condições externas. Os antigos estudiosos da evolução frequentemente se surpreendiam com a aparente necessidade de explicar a evolução de detalhes minuciosos de natureza adaptativa, como a estrutura fina de todos os ossos. Sob a perspectiva de que a estrutura nunca é herdada como tal, mas sim tipos de comportamento celular adaptativo que levam a estruturas específicas sob determinadas condições, a dificuldade, em grande parte, desaparece¹⁴⁴ (WRIGHT, 1931, p. 147)

Ademais, estudos genéticos demonstraram serem as mutações um mecanismo causal necessário e efetivo para a explicação da origem da variação das populações, tendo elas um caráter fortuito, aleatório. As conclusões da Síntese assinalam, portanto, que não haveria um direcionamento das mutações pelas condições ambientais: “nenhuma correlação foi encontrada entre as condições externas e a direção da mutação, e os poucos agentes que foram identificados como capazes de afetar a taxa (raios-X, rádio e, em uma medida relativamente pouco importante, temperatura) apenas aceleram a taxa de mutação aleatória¹⁴⁵” (WRIGHT, 1931, p. 142). Diante do que precede, podemos afirmar que, sob o ponto de vista empírico, era contundente a objeção da Síntese à ideia de herança das características adquiridas defendida por toda uma escola de naturalistas, entre eles Darwin.

Com auxílio do encadeamento lógico causal que apresentamos no início desta seção, gostaríamos de ir um pouco além da análise meramente factual sobre o caráter dessa objeção. Ao refletirmos, sob o prisma da causalidade, a possível relação existente entre mudança do indivíduo e mudança das espécies, entendemos que a Síntese, apesar de se contrapor à efetividade empírica da ideia de que o princípio de herança das características adquiridas seja um dos mecanismos responsáveis pela variação das populações, ela não se contrapõe à sua

¹⁴⁴ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 147: “Individual adaptability is, in fact, distinctly a factor of evolutionary poise. It is not only of the greatest significance as a factor of evolution in damping the effects of selection and keeping these down to an order not too great in comparison with $1/4N$ and U , but is itself perhaps the chief object of selection. The evolution of complex organisms rests on the attainment of gene combinations which determine a varied repertoire of adaptive cell responses in relation to external conditions. The older writers on evolution were often staggered by the seeming necessity of accounting for the evolution of fine details of an adaptive nature, for example, the fine structure of all of the bones. From the view that structure is never inherited as such, but merely types of adaptive cell behavior which lead to particular structures under particular conditions, the difficulty to a considerable extent disappears”.

¹⁴⁵ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 142: “No correlation has been found between external conditions and direction of mutation, and those few agents which have been found to affect the rate (X-ray, radium, and to a relatively unimportant extent, temperature) merely speed up the rate of random mutation”.

possibilidade lógica. Dito de outra forma, trata-se de uma rejeição empírica, que não implica, necessariamente, a rejeição da possibilidade lógica de que mudanças das características dos indivíduos ao longo de seus ciclos de vida configurem-se em variações herdáveis e que, por conseguinte, integrem o grupo de causas do fenômeno evolutivo. Para que fosse possível uma rejeição absoluta do mecanismo de herança dos caracteres adquiridos, que seja exaustiva em todas as dimensões (efetividade empírica e validade lógica), seria necessário que as evidências empíricas do encadeamento causal evolucionista – mutação, que enseja variação, que enseja evolução – permitissem o atendimento de dois requisitos:

- (i) Que fossem conhecidos todos os mecanismos causais das mutações e que, entre todos esses mecanismos causais, não figurasse o mecanismo da herança das características adquiridas;
- (ii) Que todos os mecanismos causais das mutações conhecidos pela genética sejam, além de necessários e efetivos, também suficientes para explicar todos os casos do fenômeno da hereditariedade.

Atendidos esses dois requisitos, as evidências empíricas disponíveis demonstrariam que (a) não haveria nenhum espaço para considerar válida, sob o ponto de vista lógico, uma explicação evolucionista que assume que uma mudança adquirida produza uma variação herdável, ou seja, que o uso e desuso produzam uma mutação e que (b) não haveria nenhum espaço para considerar válida, sob o ponto de vista lógico, uma explicação evolucionista que assume que as heranças adquiridas produzam a transmissão de variações herdáveis mesmo sem produzir mutações. Sob o ponto de vista epistemológico, contudo, a demonstração de suficiência das explicações causais científicas não é definitiva, pois permanece condicionada ao encontro, em algum momento, de pelo menos uma nova evidência empírica – descoberta do “cisne negro” – da existência de um mecanismo alternativo aos conhecidos (por exemplo, no caso em questão, um mecanismo de produção de mutações até então desconhecido ou um mecanismo não mutacional produtor de variações herdáveis). Essa reflexão, em torno de possibilidades lógicas, nos permite reescrever, com mais rigor, o que enunciamos anteriormente: entendemos que a Síntese Evolutiva Moderna refutou, com base nas evidências empíricas então existentes, a efetividade da herança das características adquiridas como mecanismo explicativo do fenômeno da hereditariedade, porém não refutou, de forma definitiva, sua validade lógica. Ainda restou possível conceber, pelo menos em termos abstratos, a hipótese de que possam existir casos especiais do fenômeno hereditário que sejam explicáveis por mecanismos de transmissão de características adquiridas. Entendemos, todavia,

que o elevado poder explicativo dos mecanismos genéticos de variação e mudanças inverteu o ônus da prova causal: a partir da Síntese, cabe a eventuais defensores da transmissão hereditária das características adquiridas encontrar, em pelo menos um caso empírico, um mecanismo em que esse tipo de transmissão ocorra, bem como explicar como o mecanismo explicativo desse caso excepcional se relaciona com os mecanismos genéticos gerais de hereditariedade, sobretudo com a ocorrência das mutações.

Julgamos importante apresentar essa reflexão, também, pelo fato de ela nos auxiliar a alcançar pelo menos duas importantes conclusões sobre limites e possibilidades do poder explicativo das ideias de variação e hereditariedade, após sua reconfiguração pela Síntese Evolutiva Moderna:

(i) a demonstração da validade e da efetividade dos mecanismos conhecidos de variação populacional e de herança genéticas não refuta, necessariamente, a validade lógica, tampouco a possibilidade empírica, da existência de outros mecanismos causais para os fenômenos da variação e da hereditariedade;

(ii) a eventual demonstração da existência de outros mecanismos responsáveis pela produção de variações herdáveis não invalida, sob o ponto de vista lógico, o poder explicativo dos mecanismos genéticos conhecidos de variação populacional e herança genéticas, embora reduza, em termos relativos, a efetividade deles, na medida em que os mecanismos genéticos passarão a compartilhar parcelas de participação nas explicações com um conjunto mais amplo de mecanismos causais para os fenômenos da variação e da hereditariedade.

3.6 Da *blending inheritance* à *particulate inheritance*

Conforme mencionamos no Capítulo 2, a principal explicação de Darwin para o fenômeno da hereditariedade centrou-se na Teoria da Pangênese, enunciada em 1868, em seu livro *A Variação de Animais e Plantas sob Domesticação*. A Teoria da Pangênese previa a existência de gêmulas, minúsculas partículas, inobserváveis a olho nu, liberadas por órgãos e tecidos de todo o organismo, contendo suas características essenciais a serem transmitidas aos descendentes. As gêmulas convergiriam, após navegarem, possivelmente¹⁴⁶, pela corrente sanguínea, para os órgãos sexuais dos pais, a partir dos quais seriam transmitidas aos descendentes. As gêmulas herdadas conteriam, à semelhança de sementes minúsculas, as

¹⁴⁶ Darwin não apresenta detalhes sobre a forma de circulação por ele especulada para as gêmulas.

essências que determinariam a constituição e o funcionamento de novos órgãos e tecidos na prole (DARWIN, 2010). Para Darwin, na constituição dos descendentes por reprodução sexuada, as características carregadas pelas gêmulas misturar-se-iam para formar características de matizes intermediários em relação às características parentais originais (DARWIN, 1872). Nos permitindo recorrer a uma metáfora relacionada ao contexto da viticultura, para nos auxiliar na compreensão da transmissão da hereditariedade na Teoria da Pangênese de Darwin, poderíamos dizer que as gêmulas, como pequenas uvas, conteriam a essência de cada cepa parental de videira. Quando as essências dessas pequenas uvas, de diferentes videiras (geração parental), fundiam-se, dar-se-ia origem a um “*assemblage*” de organismo (como um “*assemblage*” de vinho), um organismo com características intermediárias, homogeneizadas a partir da mistura do sumo das cepas originais. Esse mecanismo de herança, que prevê um *assemblage* das características parentais, é denominado de herança por fusão ou, na língua inglesa, de *blending inheritance*¹⁴⁷.

A noção de *assemblage* da *blending inheritance* trouxe para a ideia de seleção natural de Darwin algumas dificuldades conceituais, algumas das quais foram fortemente lançadas contra ele enquanto ele ainda estava em vida:

Blending heredity teve consequências importantes para a visão de Darwin sobre como a seleção natural funcionaria e levou a uma alegação muito discutida pelo engenheiro Fleeming Jenkin, de que a teoria da seleção era implausível se a mistura ocorresse [...] A objeção de Jenkin que chamou a atenção dos historiadores é sua alegação de que, se a seleção atua sobre variações em grande escala, ou “*sports of nature*”, então a mistura a tornará ineficaz, porque a influência de um único *sport* será diluída pela mistura com a maioria inalterada da população. Uma analogia comum é a de colocar uma única gota de tinta branca em um balde de tinta preta – misture a tinta e o efeito do branco será insignificante [...] Jenkin apontou que isso [*uma variação favorável de grande magnitude em animal de domesticação*] funcionava apenas porque o fazendeiro era capaz de forçar a prole do “*sport*” a cruzar entre si. Na natureza, a prole do *sport* teria cruzado livremente com o restante da população e o caráter teria sido diluído¹⁴⁸ (BOWLER, 2009, p. 200-201).

¹⁴⁷ Optamos por usar a expressão “*blending inheritance*” e, mais adiante, também, “*particulate inheritance*”, em língua inglesa, por zelo pela precisão nas referências que faremos a esses conceitos nos pensadores da Síntese Evolutiva Moderna que estudamos. Há mais de uma forma de se referir a esses modelos de transmissão de hereditariedade em língua portuguesa, de modo que buscamos, com nossa escolha, evitar ambiguidades ou apreensões incompletas dos sentidos originais dos termos.

¹⁴⁸ Traduzido de BOWLER, 2009, p. 200-201: “*Blending heredity had important consequences for Darwin's view of how natural selection would work, and led to a much discussed claim by the engineer Fleeming Jenkin that the selection theory was implausible if blending took place [...] The objection by Jenkin that has caught historians' attention is his claim that, if selection works on large-scale variations, or "sports of nature," then blending will render it ineffective because the influence of a single sport will be swamped by intermixture with the unchanged bulk of the population. A common analogy is that of putting a single spot of white paint into a bucket of black—stir it up and the effect of the white is vanishingly small [...] Jenkin pointed out that this worked only because the*

Essa crítica que envolve a "diluição"¹⁴⁹ da variabilidade na transmissão das características sob o modelo de *blending inheritance* é contundente, sob o ponto de vista lógico, na medida em que aponta, coerentemente, que a reprodução sexuada produziria uma neutralização das variações umas pelas outras nas primeiras gerações de descendentes e, conseqüentemente, uma harmonização das populações ao longo do tempo, não uma evolução. Ademais, *blending inheritance* não explica, a contento, alguns fenômenos específicos, como, por exemplo, marcantes dessemelhanças entre irmãos filhos dos mesmos pais ou, ainda, o fenômeno de reversão¹⁵⁰, por meio do qual os descendentes manifestarão características ausentes nos pais, mas que estiveram presentes em gerações anteriores:

O argumento baseado na *blending inheritance* e suas conseqüências lógicas, embora certamente represente a tendência geral do pensamento de Darwin sobre herança e variação, por alguns anos após ele começar a refletir sobre a teoria da Seleção Natural, não o satisfaz completamente [...] Não está claro se essa dificuldade foi completamente resolvida na mente de Darwin, mas está claro a partir de muitas passagens que ele via a necessidade de complementar o argumento original postulando que as causas da variação que atuam sobre o sistema reprodutivo devem ser capazes de atuar de maneira retardada e cumulativa, de modo a que a variação ainda possa continuar por muitas gerações subsequentes¹⁵¹ (FISHER, 1930, p. 6-7).

Fisher (1930, p. 2) nos recorda que Darwin reconheceu, em dois ensaios, de 1842 e 1844, que depois seriam transformados no primeiro capítulo da *Origem*, que "com 'blending inheritance', a reprodução sexuada tenderá rapidamente a produzir uniformidade". No entanto, caso ele viesse a adotar uma teoria baseada na ideia de *particulate inheritance* – modelo de hereditariedade baseado na transmissão independente de unidades de características, conforme discutiremos logo adiante – isso significaria que ele estaria obrigado a reescrever todos os seus escritos sobre a variação (FISHER, 1930, p. 2-3). Assim, a despeito da insegurança de Darwin

farmer was able to force the offspring of the sport to interbreed among themselves. In the wild, the sport's offspring would have interbred freely with the rest of the population and the character would have been swamped".

¹⁴⁹ A palavra "diluição" é aqui utilizada em analogia com os conceitos da química analítica, cuja acepção aproxima-se da ideia de "diluição" no senso comum. É possível, com menos poder imagético, mas talvez com maior proximidade lógica, nomear esse fenômeno por meio de uma analogia com o conceito de "decaimento" da física de partículas ou da termodinâmica. O próprio Fisher, quando apresenta suas equações descritivas do fenômeno, associa o "decaimento do calor" na termodinâmica com o "decaimento da variância" na *blending inheritance*. Ver FISHER, 1930, p. 88-93.

¹⁵⁰ O fenômeno da reversão desempenhou particular importância nas dúvidas que Darwin se impunha sobre o poder explicativo da teoria da *blending inheritance*, de modo que voltaremos a esse problema mais adiante.

¹⁵¹ Traduzido de FISHER, 1930, p. 6-7: "*The argument based on blending inheritance and its logical consequences, though it certainly represents the general trend of Darwin's thought upon inheritance and variation, for some years after he commenced pondering on the theory of Natural Selection, did not satisfy him completely [...] It is not clear that this difficulty was ever completely resolved in Darwin's mind, but it is clear from many passages that he saw the necessity of supplementing the original argument by postulating that the causes of variation which act upon the reproductive system must be capable of acting in a delayed and cumulative manner so that variation might still be continued for many subsequent generations*".

quanto ao poder explicativo da *blending inheritance*, foi sobre esse modelo que ele construiu sua tese evolucionista e que desenvolveria a Teoria da Pangênese, cerca de 10 anos após a publicação da *Origem*.

No início do século XX, com a revalorização dos trabalhos de Mendel, um modelo de herança alternativo à *blending inheritance* passou a ser considerado com mais atenção pela comunidade científica. A genética mendeliana clássica está baseada em um sistema binário de herança, em que determinada informação constitutiva dos seres vivos (característica geneticamente determinada) é ou não é herdada pelos descendentes, num modelo "tudo ou nada" de transmissão (BOWLER, 2009). Esse modelo de herança mendeliana, que prevê a transmissão das características parentais em unidades de matéria (partículas), é denominado de "herança de partículas"¹⁵² ou, na língua inglesa, de *particulate inheritance*. Nesse modelo, a transmissão das informações relativas às características parentais entre as gerações está contida em partículas, denominadas "genes". Cada gene tem o seu devido lugar ou *locus* dentro do conjunto do material genético. Cada descendente recebe porções definidas de genes de cada um dos pais, as quais poderão ser retransmitidas futuramente para sua prole (FISHER, 1930, p. 8). Após a transmissão intergeracional dos genes, a manifestação de uma determinada característica pelos descendentes é condicionada por relações de interação (como dominância ou outros tipos de vinculações) entre as informações transmitidas pelos genes de ambos os pais, não por uma fusão (ou *assemblage*) entre eles, como seria esperado dentro do modelo de *blending inheritance* (FISHER, 1930, p.1). Contaremos com o auxílio de Fisher para recuperarmos a importante noção de "segregação independente dos caracteres", aportada pela genética clássica com o modelo de *particulate inheritance*:

A segregação de pares únicos de genes, isto é, de fatores únicos, foi demonstrada por Mendel em seu artigo de 1865. Além disso, Mendel demonstrou em seu material o fato da dominância, ou seja, que o heterozigoto não era intermediário em aparência, mas sim quase ou totalmente indistinguível de uma das formas homozigóticas [...] Mendel também demonstrou algo que um teórico dificilmente teria se aventurado a postular, que os diferentes fatores examinados por ele em combinação, segregavam-se da maneira mais simples possível, ou seja, independentemente¹⁵³ (FISHER, 1930, p. 8-9).

¹⁵² "Herança mendeliana" ou "herança fatorial" estão entre as denominações alternativas, em língua portuguesa, para o modelo de "herança de partículas". Conforme comentamos anteriormente, optaremos por nos referir ao modelo por "*particulate inheritance*".

¹⁵³ Traduzido de FISHER, 1930, p. 8-9: "*The segregation of single pairs of genes, that is of single factors, was demonstrated by Mendel in his paper of 1865. In addition Mendel demonstrated in his material the fact of dominance, namely that the heterozygote was not intermediate in appearance, but was almost or quite indistinguishable from one of the homozygous forms [...] Mendel also demonstrated what a theorist could scarcely have ventured to postulate, that the different factors examined by him in combination, segregated in the simplest possible manner, namely independently*".

Quando o modelo de *particulate inheritance* foi revitalizado, no início do século XX, ainda não se havia descoberto a natureza química dos genes. Diversos eventos intracelulares eram associados à produção de variações herdáveis. Tão cedo quanto em 1869, estudantes de uma disciplina então denominada “química fisiológica”, na Universidade de Tübingen, na Alemanha, isolaram no núcleo das células uma substância a que eles denominaram de “nucleína”, composta de proteínas e ácidos nucleicos (MORANGE, 2016, p. 137). Para os primeiros geneticistas, a hipótese de que as proteínas seriam os reservatórios das informações hereditárias mostrava-se, todavia, de difícil demonstração. Afinal, uma vez que órgãos e diversas outras estruturas dos corpos dos organismos têm as proteínas como um de seus principais constituintes, a separação entre o que seriam características físicas manifestadas dos seres vivos e informação hereditariamente transmissível tornar-se-ia, conceitual e experimentalmente, difícil. Foi somente em 1944 que Oswald Avery propôs que as bases materiais dos genes, unidades conceituais carreadoras da informação hereditária, seriam constituídas, quimicamente, de um tipo específico de ácido nucleico, o ácido desoxirribonucleico – DNA. E foi somente em 1953 que James Watson e Francis Crick, na esteira dos trabalhos de Rosalind Franklin e com apoio de Maurice Wilkins, propuseram o modelo químico de dupla-hélice para a estrutura do DNA¹⁵⁴ (KLUG, 1968; MORANGE, 2016, p. 269-270). Essas evidências oriundas da genética molecular foram conhecidas, portanto, após o período de desenvolvimento conceitual que é objeto de nossa reflexão. No entanto, à altura da década de 1930, quando se procedeu o cerne do desenvolvimento conceitual da Síntese, havia evidências empíricas consistentes o suficiente para associar o conjunto dos *loci* dos genes aos “corpos de coloração escura ou cromossomos que podem ser vistos nos núcleos das células em certos estágios da divisão celular” (FISHER, 1930, p. 9). O estudo experimental da transmissão dos cromossomos entre gerações já permitia, portanto, evidências laboratoriais

¹⁵⁴ James Watson e Francis Crick não fizeram experimentos eles próprios. Suas conclusões que resultaram na láurea do Prêmio Nobel de Medicina de 1962 são decorrentes de análises e observações realizadas a partir de experimentos procedidos por outros pesquisadores. As contribuições das imagens produzidas por Maurice Wilkins e, sobretudo, das descobertas de Rosalind Franklin foram fundamentais para que Watson e Crick formassem o modelo de dupla-hélice para a estrutura do DNA. Rosalind Franklin descobriu que a molécula de DNA se apresentava sob a forma de dois estados químicos e enunciou as condições de transição entre eles. Afirmou, ainda, que qualquer modelo válido para a estrutura do DNA deveria conter um grupo fosfato do lado de fora da molécula, como viria a ser o modelo de Watson e Crick. Para detalhes sobre as contribuições de Rosalind Franklin, ver KLUG, Aaron. Rosalind Franklin and the discovery of the structure of DNA. *Nature*, v. 219, n. 5156, p. 808-810, 1968. Para Aaron Klug, Watson e Crick não reconheceram devidamente as contribuições de Franklin. A tentativa de Watson de se redimir de seu erro quando trata do assunto em seu livro *The Double Helix* não faz, para Klug, justiça ao trabalho da pesquisadora. Rosalind Franklin morreu precocemente, aos 37 anos, em 1958, não tendo, ela mesmo, tido tempo para reivindicar à comunidade científica o devido reconhecimento de suas contribuições.

consistentes para a noção de segregação independente dos genes que fundamenta o modelo de *particulate inheritance*.

Darwin já tinha conhecimento de explicações que recorriam à *rationale* do modelo de *particulate inheritance*, inclusive dos trabalhos de Mendel, conforme vimos previamente. Para Darwin e maioria de seus contemporâneos do Século XIX, contudo, esse tipo de herança seria marginal, podendo ser aceita apenas na explicação da transmissão de algumas características marcadamente dicotômicas, como o sexo ou caracteres sexualmente vinculados (BOWLER, 2009; FISHER, 1930, p.8). Esse entendimento continuaria a resistir, em larga medida, mesmo após a revalorização dos trabalhos de Mendel. Com efeito, dado o alinhamento lógico da *blending inheritance* com a premissa gradualista do fenômeno evolucionista, esse modelo, apesar das objeções que enfrentava, permaneceu majoritariamente aceito entre dois grupos de estudiosos dos fenômenos biológicos: (i) os naturalistas de campo, que, assim como Darwin, podiam inferir a transição gradual das características entre as variadas espécies, e (ii) os biometristas, grupo de estatísticos que estudavam a distribuição das características fenotípicas em populações reais (BOWLER, 2009; FISHER, 1930). O modelo de *particulate inheritance*, por sua vez, esteve inicialmente associado à teoria saltacionista de De Vries: “

A redescoberta da hereditariedade Mendeliana em 1900 surgiu como uma consequência direta das investigações de De Vries. Diferenças Mendelianas de grande magnitude foram, naturalmente, as primeiras a atrair atenção. Não é, portanto, surpreendente que os fenômenos da hereditariedade Mendeliana tenham sido vistos como uma confirmação da teoria de De Vries¹⁵⁵ (WRIGHT, 1931, p. 99).

Em consequência disso, na aurora do século XX, o modelo de *particulate inheritance* ainda estava restrito ao círculo dos geneticistas pioneiros, cientistas que extraíam suas inferências a partir de experimentos laboratoriais nos quais a segregação independente se mostrava mais efetiva no provimento de explicações sobre a transmissão hereditária.

Durante o período da Síntese Evolutiva Moderna, Fisher comparou, em termos biométricos, as diferenças entre *blending inheritance* e *particulate inheritance* no que concerne à velocidade de diluição das variações herdáveis ao longo da sucessão de gerações de descendentes. As análises estatísticas de Fisher demonstraram que existe, de fato, uma tendência na *blending inheritance* de reduzir a variância – medida estatística utilizada para especificar, quantitativamente, a variação – de forma mais acelerada que na *particulate*

¹⁵⁵ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 99: “The rediscovery of Mendelian heredity in 1900 came as a direct consequence of DE VRIES’ investigations. Major Mendelian differences were naturally the first to attract attention. It is not therefore surprising that the phenomena of Mendelian heredity were looked upon as confirming DE VRIES’ theory”.

inheritance. Desse modo, na *blending inheritance*, seria necessária uma taxa elevada de mutações para assegurar a persistência, na descendência, de uma determinada variação herdável:

A importante consequência da fusão [*blending*] é que, se não for protegida por uma intensa correlação marital, a variância hereditária é aproximadamente reduzida à metade em cada geração. Para manter uma variância estacionária, novas mutações devem estar disponíveis em cada geração para fornecer a metade da variância que é perdida. Se a variabilidade persiste, como Darwin corretamente inferiu, causas de nova variabilidade devem estar continuamente em ação. Quase todo indivíduo de cada geração deve ser um mutante, ou seja, deve ser influenciado por essas causas e, além disso, deve ser um mutante em muitos caracteres diferentes¹⁵⁶ (FISHER, 1930, p. 5).

Para sermos ainda mais fidedignos às conclusões alcançadas por Fisher, devemos mencionar que, por meio do recurso a uma matematização da tendência à conservação da variância, as equações fisherianas demonstraram que, bem verdade, "não há tendência inerente de diminuição da variabilidade" na *particulate inheritance* (FISHER, 1930, p. 9), diferentemente da tendência acima descrita para a "*blending inheritance*". A consequência do encadeamento lógico proposto por Fisher, fundamentado em formulações matemáticas que descrevem o comportamento estatístico da variação em populações reais, é que na *particulate inheritance*, o nível de mutações requerido para conservar uma dada variação herdável é da ordem de "muitos milhares de vezes menor" que na *blending inheritance* (FISHER, 1930, p. 10). Com efeito, esse nível teórico de mutações exigido pela *particulate inheritance* aproxima-se das taxas de mutações que viriam a ser efetivamente aferíveis nos estudos genéticos laboratoriais: "nosso conhecimento sobre a frequência de mutações individuais é, no momento, limitado; mas é suficiente para estabelecer que muitas mutações devem ocorrer com uma frequência de 1 em 100.000 ou 1 em 1.000.000¹⁵⁷" (FISHER, 1930, p. 56). Taxas de mutação dessa ordem, de 10^{-5} ou 10^{-6} , são consideradas excepcionalmente altas, mesmo para organismos como as moscas drosófilas, sendo inviáveis para a manutenção de espécies de animais, como no caso dos seres humanos (WRIGHT, 1931, p. 143). Essas estimativas conferiram ao modelo de *particulate inheritance* consistência com as evidências empíricas então conhecidas. Diante desse contexto teórico e empírico favorável, as teorias da hereditariedade construídas com base

¹⁵⁶ Traduzido de FISHER, 1930, p. 5: "*The important consequence of the blending is that, if not safeguarded by intense marital correlation, the heritable variance is approximately halved in every generation. To maintain a stationary variance fresh mutations must be available in each generation to supply the half of the variance so lost. If variability persists, as Darwin rightly inferred, causes of new variability must continually be at work. Almost every individual of each generation must be a mutant, i. e. must be influenced by such causes, and moreover must be a mutant in many different characters*".

¹⁵⁷ Traduzido de FISHER, 1930, p. 56: "*Our knowledge of the frequency of individual mutations is at present slender; but it is sufficient to establish that many mutations must occur with a frequency of 1 in 100,000, or 1 in 1,000,000*".

no modelo de *particulate inheritance* não precisariam se deparar com a objeção mais contundente que vinha sendo anteposta à validade do modelo de *blending inheritance*, aquela que alertava para a tendência inerente e acelerada de diluição das variações herdáveis nas primeiras gerações de descendentes. Diferentemente da *blending inheritance*, a *particulate inheritance* apresentava-se como sendo caracterizada, portanto, pela tendência à conservação da variância por um período de tempo indefinido, o que favorece a explicação do caráter acumulativo das variações herdáveis observado no mundo empírico (FISHER, 1930, p.11).

Embora as evidências já indicassem que o modelo de *particulate inheritance* requeresse baixas taxas de mutações, os pensadores da Síntese reconheciam que a taxa de conservação das variações herdáveis nesse modelo poderia, sim, reduzir-se ao longo do tempo, na medida em que pode ser influenciada por fatores externos a ela. Para sermos precisos, seriam dois esses fatores: o acaso e a seleção natural e reprodutiva. Fisher (1930, p. 9-10) assim os enuncia:

Essa taxa estará, de fato, sujeita a pequenas alterações; primeiro, pela sobrevivência e reprodução ao acaso de indivíduos de diferentes tipos; e, em segundo lugar, pela sobrevivência seletiva, devido ao fato de que os genótipos provavelmente não estão igualmente adaptados, pelo menos em alguma medida, para a tarefa de sobrevivência e reprodução¹⁵⁸ (FISHER, 1930, p. 9-10).

Para continuar a validar seu argumento de defesa da *particulate inheritance*, Fisher prosseguirá sua estratégia de recorrer à matematização dos conceitos evolucionistas, nesse caso, da influência possível do acaso e da seleção natural e reprodutiva sobre a redução da variância ao longo do tempo. Fisher demonstra que a taxa de redução da variância herdável que pode ser atribuída ao acaso é minimamente significativa (FISHER, 1930, Capítulo IV). Conclui-se, portanto, que a seleção natural e reprodutiva seria a causa mais importante a alterar a variância ao longo do tempo. Para dimensionar a taxa de decaimento da variância ao longo do tempo, no modelo de *particulate inheritance*, na ausência dessa influência da seleção natural e reprodutiva, Fisher recorre a estudos de seguimento da frequência de transmissão de genes heterozigotos em situações de cruzamentos entre indivíduos aparentados ou de mesma linhagem (consanguinidade ou autofertilização, por exemplo). Ele demonstra que, num cenário de total ausência de novas mutações e de influência da seleção, a diminuição da variação herdável na *particulate inheritance* não seria muito maior que "um décimo de milésimo"

¹⁵⁸ Traduzido de FISHER, 1930, p. 9-10: "This ratio will indeed be liable to slight changes ; first by the chance survival and reproduction of individuals of the different kinds ; and secondly by selective survival, by reason of the fact that the genotypes are probably unequally fitted, at least to a slight extent, to their task of survival and reproduction".

daquela inerentemente atribuível à *blending inheritance* (FISHER, 1930, p. 10). Wright (1931, p. 106-110), com os resultados precisos que podem ser extraídos de suas equações que descrevem a variação aleatória da frequência gênica em grandes populações, corrige os valores estimados por Fisher, mas ratifica o caráter minimalista da estimativa da diluição¹⁵⁹. Permanecia válida, portanto, a inferência da matematização da Síntese sobre a inexistência de uma tendência à redução significativa da variância ao longo do tempo no modelo de *particulate inheritance*.

Embora a vantagem supramencionada sobre à *blending inheritance* seja marcante, o modelo de *particulate inheritance* ainda precisava enfrentar o desafio de explicar, pelo menos, dois outros importantes fenômenos cujas evidências empíricas eram contundentes: (i) a manifestação retardada de algumas características fenotípicas (o fenômeno da reversão) e (ii) a manifestação fenotípica nos descendentes de características intermediárias quando comparadas àquelas encontradas na geração parental.

A insuficiência da *blending inheritance* para explicar o reaparecimento de caracteres após várias gerações de ausência incomodava sobremaneira Darwin. Ele muito especulou em torno desse fenômeno, que ele chamava de "reversão a caracteres há muito perdidos" (DARWIN, 2018, p. 203). Não tendo logrado encontrar explicação plausível dentro do modelo da *blending inheritance*, Darwin passou a abordar o problema de forma genérica e vaga, assumindo ser o fenômeno de reversão uma "tendência" que, ao lado de outras, balizaria a variação dos seres vivos:

Alguns autores afirmam, e parece-me que têm razão, que partes rudimentares tendem a ser muito variáveis. Voltaremos mais à frente aos órgãos rudimentares e atrofiados; por ora, direi apenas que sua variabilidade parece devida à inutilidade, pois não cabe à seleção natural conter desvios estruturais. Por isso, as partes rudimentares são deixadas à livre atuação das diversas leis de crescimento, aos efeitos do desuso contínuo e à tendência à reversão (DARWIN, 2018, p. 225).

Se analisarmos esse argumento de Darwin com mais atenção, sob a perspectiva das relações de causalidade, observamos que, a nosso juízo, Darwin inverteu a relação de anterioridade quando tentou explicar a associação que ele especulava existir entre reversão e

¹⁵⁹ Em um estado de equilíbrio populacional e na ausência de novas mutações e seleção, Fisher (1930, p. 87) estima uma taxa de decaimento da variância da ordem de $1/4N$ a cada geração, onde N = número de indivíduos em idade reprodutiva da população em estudo. Para esse mesmo cenário, Wright (1931, p. 107), utilizando um método matemático diferente daquele aplicado por Fisher, estima uma taxa de decaimento da variância da ordem de $1/2N$. Fisher reconhece (1930, p. 87) a maior precisão da estimativa de Wright. Ainda que haja essa discrepância nas estimativas de Fisher e Wright, nota-se que, em grandes populações (elevados valores de N), que são o caso em maior parte das situações reais, a tendência inerente à dissipação da variância ao longo do tempo no modelo de *particulate inheritance* é mínima.

variação. Conforme discutimos no Capítulo 1, a determinação do que se passa em um dado instante por aquilo que se passou no instante precedente está no cerne da causalidade, sendo esse elemento de ordem temporal definidor da direção da relação de causalidade que se pretende estabelecer. Ao considerar a reversão como sendo uma tendência que integra o conjunto de causas da variação, Darwin incorreu no equívoco de inverter a ordem dos entes causa e efeito que ele buscava relacionar. Com a Síntese Evolutiva Moderna, a reversão a caracteres há muito perdidos passa a ser reconhecida, em uma conclusão lógica direta a partir das premissas do modelo, como sendo um dos efeitos esperados da variação de base mutacional prevista pelo modelo de *particulate inheritance*, não mais como uma "tendência da variação":

O mecanismo de *particulate inheritance* é evidentemente adequado para reproduzir o fenômeno da reversão, em que um indivíduo se assemelha a um dos avós ou a um ancestral mais remoto em algum aspecto no qual ele difere de seus pais; uma vez que a combinação genética ancestral pode ser reproduzida por acaso. Isso assume a forma mais simples quando há dominância, porque toda união de dois heterozigotos produzirá descendentes recessivos que diferem na aparência de seus pais, mas que provavelmente se assemelham a algum dos avós ou ancestral¹⁶⁰ (FISHER, 1930, p. 9).

Vencido o desafio de explicar o fenômeno da reversão, ainda restava um outro problema para o modelo de *particulate inheritance*. A manifestação pelos descendentes de características com matizes intermediários em relação aquelas dos progenitores, como é, por exemplo, o caso clássico entre os naturalistas da cor da pelagem ou pele em animais, é, à primeira vista, um fenômeno cuja explicação seria mais congruente com um modelo de hereditariedade do tipo *blending* que do tipo *particulate*. O fato de que da reprodução entre animais de pigmentação clara e escura resultam descendentes com pigmentações intermediárias é uma evidência empírica que salta aos olhos mesmo de indivíduos não treinados em zoologia. No início do século XX, os resultados que vinham sendo obtidos com os estudos populacionais procedidos pelos biometristas desde o final do século XIX, sobre a altura e outras medidas biométricas humanas, corroboraram esse tipo de observações dos naturalistas sobre a manifestação de características intermediárias, o que fazia desse problema empírico um desafio a ser imperativamente resolvido pelo sistema de herança mendeliana em sua trajetória de busca por validação (FISHER, 1930, p. 17).

¹⁶⁰ Traduzido de FISHER, 1930, p. 9: "*The mechanism of particulate inheritance is evidently suitable for reproducing the phenomenon of reversion, in which an individual resembles a grandparent or more remote ancestor, in some respect in which it differs from its parents ; for the ancestral gene combination may by chance be reproduced. This takes its simplest form when dominance occurs, for every union of two heterozygotes will then produce among the offspring some recessives, differing in appearance from their parents, but probably resembling some grandparent or ancestor*".

No modelo tudo ou nada da genética mendeliana, a manifestação de características intermediárias pôde ser explicada a partir da inferência, baseada em evidências obtidas nos estudos genéticos, de que a manifestação fenotípica de uma única característica dos organismos é muito comumente dependente da combinação da expressão de múltiplos genes. Diante desse pressuposto, a manifestação de pigmentação intermediária da pelagem ou pele entre os descendentes de pais de pigmentações clara e escura pode ser explicada pelo condicionamento da manifestação dessa característica à expressão não de um único gene – herança monogenética –, mas de um grupo de genes, incluindo genes reguladores, e da interação entre esses genes, a ser considerada levando em conta a existência de relações de dominância entre eles (FISHER, 1930, p. 17-18). Esse mesmo argumento logra explicar, a contento, os demais casos de manifestação de características intermediárias, como as diferenças biométricas (altura, por exemplo) entre as populações:

A distribuição aproximadamente normal das medidas em si pode ser deduzida da simples suposição de que os fatores que afetam a estatura humana são aproximadamente aditivos em seus efeitos. As correlações encontradas entre parentes de diferentes graus de parentesco são, dentro de seus erros amostrais, de magnitudes que seriam deduzidas da suposição de que a medida é principalmente determinada pela hereditariedade, e que os fatores que a controlam apresentam, como a maioria dos fatores mendelianos, dominância completa ou quase completa. A presença de dominância é uma característica mendeliana, demonstrada nos dados biométricos pelo fato bem estabelecido de que filhos dos mesmos pais são, em média, um pouco mais semelhantes entre si do que entre pais e filhos¹⁶¹ (FISHER, 1930, p. 17-18).

Os geneticistas, com apoio de Fisher, Wright, Haldane e demais pensadores da Síntese lograram, portanto, apresentar, dentro do modelo de *particulate inheritance*, uma explicação logicamente válida e empiricamente efetiva para o fenômeno da manifestação, pelos descendentes, de características fenotípicas com matizes intermediários em relação às características dos pais:

Nada poderia ser mais explícito do que igualar mendelismo, que é resultado da ação de poucos fatores, com características biométricas, que resultam da ação de muitos fatores. Hoje em dia a herança mendeliana pode ser vista como um caso particular da herança poligênica; além do mais, do ponto de vista estatístico, sabemos hoje que uma distribuição binomial pode se converter em distribuição normal e vice-versa, dependendo do valor do expoente, n , do binômio (ARAÚJO, 2001, p. 718).

¹⁶¹ Traduzido de FISHER, 1930, p. 17-18: "*The approximately normal distribution of the measurements themselves may be deduced from the simple supposition that the factors affecting human stature are approximately additive in their effects. The correlations found between relatives of different degrees of kinship are, within their sampling errors, of the magnitudes which would be deduced from the assumption that the measurement is principally determined by inheritance, and that the factors controlling it show, like most Mendelian factors, complete or almost complete dominance. The presence of dominance is a Mendelian feature, which is shown in the biometrical data by the well-established fact that children of the same parents are, on the average, somewhat more alike than are parent and offspring*".

Esse caso de desenvolvimento conceitual exemplifica como o trabalho de fusão teórica procedido pela Síntese conseguiu converter a estatística populacional dos biometristas, que anteriormente objetava o modelo genético de *particulate inheritance*, em uma fonte de evidências quantificáveis para os fundamentos teóricos deste modelo.

As vantagens epistemológicas que viemos de destacar nos ajudam a entender o porquê de o modelo de *particulate inheritance* ter logrado se consagrar, com a Síntese Evolutiva Moderna, no modelo hegemônico para a explicação do fenômeno da hereditariedade. A validação da *particulate inheritance* representa, concomitantemente, a validação das mutações como causa das variações herdáveis. A partir da Síntese, as teorias evolucionistas que se pretendem efetivas, para lograrem validação, devem, portanto, ser mutacionistas e basear-se no modelo de *particulate inheritance* de transmissão da hereditariedade. Elencamos, no Quadro 5, abaixo, de forma resumida, os aspectos que consideramos mais relevantes relativos a esse desenvolvimento conceitual, que envolve a transição do modelo de hereditariedade baseado na *blending inheritance*, que fundamenta a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, para o modelo de hereditariedade baseado na *particulate inheritance*, que fundamenta a Teoria Genética da Seleção Natural.

Quadro 5: Desenvolvimento conceitual da hereditariedade: da *blending inheritance* à *particulate inheritance*

	Modelo de <i>Blending inheritance</i> (Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural)	Modelo de <i>Particulate inheritance</i> (Teoria Genética da Seleção Natural)
Origem das variações herdáveis	(a) variações herdáveis produzidas por mudanças nas condições de vida, aumento da disponibilidade de alimento, influência do hábito e do uso e desuso dos caracteres, leis do crescimento, tendência à "reversão", entre outras causas	(a) variações herdáveis produzidas por mutações
Mecanismo de transmissão das características entre as gerações	(b) fusão de características parentais	(b) segregação independente de partículas (genes)
Frequência de mutações	(c) requer altas de altas taxas de mutações	(c) requer baixas taxas de mutações
Tendência de comportamento da variabilidade ao longo do tempo	(d) tendência inerente à diminuição da variabilidade na transmissão entre as gerações de descendentes das variações herdáveis	(d) ausência de tendência inerente à diminuição da variabilidade na transmissão entre as gerações de descendentes das variações herdáveis
Influência de causas externas	(e) influência desprezível do acaso na conservação das variações herdáveis; papel acentuado da seleção natural na conservação das variações herdáveis	(e) influência desprezível do acaso na taxa de conservação das variações herdáveis; influência incremental da seleção natural e reprodutiva na taxa de conservação das variações herdáveis

Nossa análise do desenvolvimento lógico-conceitual do princípio de hereditariedade e da transição da aceitação da *particulate inheritance* frente à *blending inheritance* nos permite ainda uma importante reflexão derradeira nesta seção. A baixa tendência de redução das variações herdáveis na *particulate inheritance* tornou desnecessários, em larga medida, os argumentos explicativos da variação baseados na existência de causas contínuas de produção de mutações pelo ambiente. Esse é o caso, por exemplo, do argumento da variabilidade ocasionada pelo uso e desuso dos caracteres, com a qual Darwin aquiesceu, o qual representa, em larga medida, a aceitação da ideia de necessidade de uma causa contínua e reiterada de produção de variações herdáveis para manter a evolução em curso. A ideia do uso e desuso dos caracteres encontrou terreno fértil para prosperar sob a égide da *blending inheritance*, que exige a ocorrência de novas mutações contínua e frequentemente. A *particulate inheritance*, diferentemente da *blending inheritance*, permite a validação lógica de causas das mutações que produzam seus efeitos apenas episódica e raramente. Assim, com o desenvolvimento do princípio de hereditariedade, o hábito, o uso e desuso dos caracteres e outros argumentos desse tipo, como a disponibilidade de alimentos, ademais de terem sido empiricamente contestados, se tornaram causas descartáveis, porque desnecessárias, para explicar a variação sob o modelo de *particulate inheritance*.

3.7 Gradualismo versus Saltacionismo

Conforme discutimos previamente, dada a inspiração da *rationale* darwiniana na dinâmica evolutiva da geologia, podemos, por analogia, reconhecer que, assim como a lenta e gradual mudança dos solos litorâneos é provocada pela atuação contínua das ondas, também as populações, ao variarem ao longo do tempo de forma lenta e gradual, provocarão mudanças nas espécies ao longo das gerações (DARWIN, 2018, p. 393). Após algumas gerações, novas espécies poderão se formar, divergentes em alguns aspectos da espécie original, mas com ela aparentadas (SOBER, 1994). Afinal, Darwin conclui sem hesitar, “se examinarmos períodos suficientemente longos, a geologia irá declarar, inequivocamente, que todas as espécies sofreram mudanças, como requer a minha teoria, pois se alteraram de maneira lenta e gradual” (DARWIN, 2018, p. 608). Para Darwin, portanto, a evolução processa-se gradualmente, não em saltos:

É uma observação confirmada pelo velho adágio da história natural, *Natura non facit saltum* [a natureza não procede por saltos], máxima admitida por quase todos os naturalistas mais tarimbados; ou, como bem colocou Milne-Edwards, a natureza é

pródiga em variedades e avara em inovações. Seria assim na teoria da criação das espécies? Estariam ligados entre si, invariavelmente, todas as partes e órgãos de muitos seres independentes, cada um deles supostamente criado à parte e designado a um lugar na natureza? Por que haveria a natureza de dar saltos de uma estrutura a outra? Na teoria da seleção natural, compreende-se claramente por que ela não o faria, pois atua aproveitando-se de variações sucessivas mínimas e jamais poderia saltar, mas avança sempre, a passos curtos e lentos (DARWIN, 2018, p. 279).

O gradualismo do processo evolutivo é, portanto, indubitavelmente, uma premissa da tese evolucionista darwiniana (HULL, 1976; MAYR, 2002). Quando discutirmos, no próximo capítulo, a importância histórica das categorizações taxonômicas para a fundamentação da causalidade evolucionista, refletiremos sobre como a descontinuidade em nossa percepção do fenômeno evolutivo, decorrente das evidências então disponíveis – oriundas da morfologia, da paleontologia ou de outros métodos comparativos –, dificultou a apreensão e aceitação do caráter gradualista das mudanças das espécies ao longo do tempo. Deixando em suspenso, por ora, essa dificuldade, que é de ordem epistemológica mais geral e que influenciou, e ainda influencia, a compreensão dos fenômenos evolutivos como um todo, nós ainda seremos forçados a nos deparar com um outro desafio, aquele de validar o gradualismo na explicação de alguns fenômenos evolutivos particulares. No caso de órgãos cujo tamanho influencia na função que ele desempenha para o organismo e, portanto, na adaptação da espécie ao ambiente circundante, como explicar a ocorrência de cada aumento gradual de tamanho, em escalas mínimas de ganhos? Como cada incremento marginal de uma dada característica, por vezes imperceptível aos olhos dos mais atentos zoólogos e botânicos, pode ser capaz de produzir uma vantagem competitiva que resulta em aumento nas “chances de sobreviver e propagar a espécie”? (DARWIN, 2018, p. 170). Colocando esse questionamento em sentido inverso, como explicar a redução gradual do tamanho de órgãos que não mais desempenham funções identificáveis atualmente, se cada passo dessa redução precisaria aportar, igualmente, vantagem competitiva aos seus portadores? Essas são algumas das situações que levantam desafios às explicações evolutivas gradualistas.

Um dos contemporâneos de Darwin, o médico e biólogo prussiano August Weismann (1834-1914) – que defendeu a ideia de seleção natural desde o princípio, num momento em que ela estava submetida a profundas críticas –, buscou endereçar respostas a questionamentos do tipo dos que acima levantamos. Weismann propôs que seleção natural agiria ao cabo de um processo no qual existiria um impulso inicial de mudança, que criaria um determinado tipo de *momentum*, e que continuaria a provocar uma série de mudanças herdáveis sucessivas nas características dos organismos, seja na direção de acréscimo ou de decréscimo de um dado órgão, membro ou parte (FISHER, 1930, p.13-14). Essas mudanças intermediárias não

estariam, necessariamente, associadas a ganhos ou perdas de função. A vantagem competitiva por elas aportada ao organismo seria alvo da seleção natural apenas quando as mudanças fossem acumuladas em certo nível. Esse mecanismo proposto por Weismann, que nos parece funcionar sob a lógica do princípio da inércia newtoniano (aumento ou diminuição de tamanho dos órgãos em “trajetória inercial” até que uma força externa venha a agir), se propunha a aportar à ideia de seleção natural o benefício de não requerer a existência, necessariamente, de uma vantagem competitiva que justifique a ocorrência de cada um dos incrementos ou reduções das características herdáveis em análise. Em consequência disso, segundo Fisher (1930, p. 13-14):

Esse presumido momentum no processo de mutação, ele [Weismann] considerou útil em dois aspectos: (i) permitiria que uma mutação mínima assumida em uma direção vantajosa fosse aumentada por outras mutações, até que 'atingisse valor seletivo'; (ii) explica a diminuição contínua de um órgão inútil, sem assumir que cada etapa dessa diminuição confere alguma vantagem ao organismo que a manifesta¹⁶² (FISHER, 1930, p. 13-14).

Essa noção de "valor seletivo" de Weismann tem, sob o ponto de vista conceitual, implicações que consideramos importantes sobre a ideia darwiniana de gradualismo do processo evolutivo. De acordo com o mecanismo de Weismann, a tendência inicial de acréscimo ou decréscimo, digamos, por exemplo, do tamanho de um órgão, seria determinada pelo acaso. Uma vez desencadeada essa tendência de mudança, ela continuaria a alterar o tamanho do órgão, gradual e progressivamente (ou gradual e regressivamente, no caso de tendência de decréscimo) até o momento em que o referido órgão atingisse um tamanho cuja seleção natural pudesse agir no sentido de preservar (ou extinguir) todo o conjunto de mudanças prévias. A seleção natural proceder-se-ia, portanto, quando um certo limiar seletivo fosse atingido, embora o próprio Weismann reconhecesse ignorar as múltiplas variáveis que nos permitiriam determinar esse limiar:

Não podemos afirmar, em nenhum caso específico, o quão grande uma variação precisa ser para ter valor seletivo, nem o quão frequente ela deve ocorrer para adquirir estabilidade. Não sabemos quando e se uma variação útil desejada realmente ocorre, nem de que fatores sua aparição depende; e não temos meios de determinar o espaço de tempo necessário para a realização dos processos seletivos da natureza, e, portanto, não podemos calcular o número exato de tais processos que ocorrem ou podem ocorrer simultaneamente na mesma espécie. No entanto, tudo isso é necessário se desejarmos

¹⁶² Traduzido de FISHER, 1930, p. 13-14: "*Such an assumed momentum in the process of mutation, he found useful in two respects: (i) it would enable an assumed minimal mutation in an advantageous direction to be increased by further mutations, until it 'attains selection value'* (ii) *it explains the continuous decrease of a useless organ, without assuming that each step of this decrease confers any advantage upon the organism manifesting it*".

acompanhar os detalhes precisos de um caso específico¹⁶³ (WEISMANN, 1896, p. 252).

Assim sendo, enquanto, para Darwin, o processo evolutivo e a ação da seleção natural seriam contínuos e graduais, para Weismann, com sua ideia de "valor seletivo", o processo evolutivo persistia sendo contínuo e gradual, porém a seleção natural agiria em degraus, quando o limiar seletivo fosse atingido. Weismann não logrou aprofundar sua reflexão sobre essa "tendência inicial" que produziria o *momentum* das mudanças, que, em última análise, se trata da discussão sobre a própria causa da variação herdável. Deixando à parte esse fato e os equívocos das especulações de Weismann, sua ideia de "valor seletivo" rompe, em alguma medida, com a associação necessária estabelecida por Darwin entre o gradualismo do processo evolutivo como um todo e a forma com que agiria a seleção natural. Em outros termos, o argumento de Weismann coloca em evidência o entendimento de que o processo evolutivo poderia ser gradual e contínuo ainda que a ação da seleção não o viesse a ser, necessariamente, sem que isso representasse uma invalidação da ideia de evolução. Assim, a nosso juízo, ficava cada vez mais cristalino, ao longo do desenvolvimento epistemológico do evolucionismo, que, mesmo para um árduo defensor da seleção natural como Weismann, evolução não era, em termos conceituais, sinônimo de seleção natural.

Conforme vimos anteriormente, os geneticistas pioneiros, influenciados sobretudo pelo pensamento de Hugo De Vries, atribuíam às mudanças responsáveis pela evolução um caráter "saltacionista", caracterizado por grandes mutações que modificariam as características fenotípicas dos organismos e produziriam a diversificação de novas espécies em saltos (GOULD, 2002). As inferências oriundas dos experimentos laboratoriais procedidos por esses indivíduos tinham como base empírica mutações de grande monta, que eram aferíveis pelos recursos técnicos da época. Essa forma "saltacionista" de apreender o fenômeno evolutivo como um todo se contrapunha com o gradualismo defendido por Darwin e cancelado por Weismann. Estabelecia-se, dessa forma, um embate entre duas visões contrastantes quanto ao ritmo do processo evolucionista.

Ademais de Darwin e seu círculo de defensores próximo, o gradualismo do fenômeno evolutivo permanecia sendo defendido por naturalistas de campo, cujas observações empíricas

¹⁶³ Traduzido de WEISMANN, 1896, p. 252: "We can state in no single case how great a variation must be to have selective value, nor how frequently it must occur to acquire stability. We do not know when and whether a desired useful variation really occurs, nor on what its appearance depends ; and we have no means of ascertaining the space of time required for the fulfilment of the selective processes of nature, and hence cannot calculate the exact number of such processes that do and can take place at the same time in the same species. Yet all this is necessary if we wish to follow out the precise details of a given case."

de animais e plantas em ambientes artificiais ou selvagem permitiam inferências na direção de um caráter incremental, ao invés de drástico, para as mudanças dos seres vivos. No início do século XX, viriam a se somar ao campo de defesa do gradualismo também os biometristas, cuja descrição matemática das características dos organismos vivos sob a forma de estatística populacional também corroborava a premissa gradualista da evolução (DOBZHANSKY, 1937).

Caberia à Síntese Evolutiva Moderna endereçar sua atenção a esse embate entre gradualismo e saltacionismo do processo evolutivo, não tendo Fisher, Wright, Haldane e demais pensadores esquivado seus olhares desse problema:

Certamente ficará claro, a partir do argumento do Capítulo I, que, na opinião do autor, as implicações das descobertas genéticas, e em particular do esquema mendeliano de herança, sobre a teoria evolutiva, são bastante diferentes, e de fato opostas, àquelas que os pioneiros do Mendelismo originalmente acreditaram ser. Estes, já na época da redescoberta do trabalho de Mendel, estavam imersos no movimento de pensamento evolutivo que, nos anos 1890, havia se inclinado a favor de uma origem descontínua para formas específicas. Era, portanto, bastante natural que os elementos descontínuos do Mendelismo fossem, sem uma análise crítica suficientemente rigorosa, interpretados como fornecendo evidências decisivas em favor dessa visão.¹⁶⁴ (FISHER, 1930, p. 147)

Conforme salientado previamente, com a abordagem matemática dos conceitos de variação e hereditariedade, alcançou-se o entendimento de que as mutações mínimas e contínuas seriam responsáveis pela variação populacional e serviriam de substrato para a seleção das características que produzirão a aptidão dos organismos às necessidades do ambiente circundante e a aptidão das partes à sua função no organismo. As macromutações e o caráter saltacionista do processo evolutivo foram, portanto, consistentemente refutados. Ademais, com a Teoria Genética da Seleção Natural, que discutiremos adiante, não apenas o caráter contínuo e gradualista do processo evolutivo é retomado, como também o caráter contínuo e gradualista da ação da seleção natural, conforme especulado por Darwin. Assim, segundo Fisher (1930, p. 15-16):

[...] a vantagem seletiva aumentará ou diminuirá continuamente, mesmo para mudanças muito menores do que as apreciáveis pelos nossos próprios sentidos, ou

¹⁶⁴ Traduzido de FISHER, 1930, p. 147: “It will be clearly understood, from the argument of Chapter I, that in the opinion of the author the bearings of genetical discoveries, and in particular of the Mendelian scheme of inheritance, upon evolutionary theory, is quite other than, and indeed opposite to, that which the pioneers of Mendelism originally took it to be. These were already, at the time of the rediscovery of Mendel's work, in the full current of that movement of evolutionary thought, which in the nineties of the last century had set in in favour of discontinuous origin for specific forms. It was natural enough therefore that the discontinuous elements in Mendelism should, without sufficiently critical scrutiny, have been interpreted as affording decisive evidence in favour of this view”.

pelos do predador ou de outro animal, que possam estar envolvidos na situação biológica em questão. Se uma mudança de 1 mm tem valor seletivo, uma mudança de 0,1 mm geralmente terá um valor seletivo aproximadamente um décimo menor, e essa mudança não pode ser ignorada porque a consideramos inapreciável [...] Não há um limiar de valor seletivo apreciável a ser considerado¹⁶⁵ (FISHER, 1930, p.15-16).

Se retomamos, sob a forma de alegorias, o que há pouco afirmamos, poderíamos dizer que, para os teóricos da Síntese, o processo evolutivo não marcharia por escadas, quaisquer que fossem os tamanhos dos degraus, conforme especulou Weismann e os adeptos da ideia de valor seletivo; o processo evolutivo tampouco marcharia em grandes saltos, conforme supuseram De Vries e os primeiros geneticistas; o processo evolutivo marcharia, com efeito, de forma lenta e gradual, como uma esteira rolante, qualquer que fosse sua inclinação. Os pequenos degraus inferidos por Darwin, seriam, portanto, sob uma lógica de cálculo infinitesimal, entendidos pelos teóricos da Síntese como sendo infinitamente pequenos, logo, graduais. Com a Síntese, portanto, o desenvolvimento conceitual da ideia de gradualismo do processo evolutivo, que havia sido abandonado quando a genética marchou na direção do saltacionismo, marcha na direção de um retorno à inferência darwiniana original.

3.8 Teoria Genética da Seleção Natural

Adentraremos, nesta seção, em uma reflexão sobre o desenvolvimento lógico-conceitual do princípio de seleção natural. Começaremos esse tópico com a contundente frase com que Ronald Fisher abre o prefácio de sua obra clássica, a *Teoria Genética da Seleção Natural*: “Seleção natural não é evolução” (FISHER, 1930, Prefácio vii). Bem verdade, entendemos que a resposta ao questionamento sobre qual é o lugar da seleção natural nas explicações evolucionistas é uma das mais relevantes discussões travadas por Fisher e pelos demais pensadores da Síntese Evolutiva Moderna.

O princípio de seleção natural, conforme apresentado por Darwin e Wallace, sofreu, desde o momento inicial em que foi enunciado, objeções incisivas. Essas dificuldades precisariam ser vencidas pelos teóricos e cientistas evolucionistas que sucederam a esses primeiros formuladores da ideia, com vistas a assegurar validade e efetividade à Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural. Bowler (2009, p. 178-179) nos ajuda a entender o

¹⁶⁵ Traduzido de FISHER, 1930, p. 15-16: " [...] the selective advantage will increase or decrease continuously, even for changes much smaller than those appreciable to our own senses, or to those of the predator or other animal, which may enter into the biological situation concerned. If a change of 1 mm. has selection value, a change of 0-1 mm. will usually have a selection value approximately one-tenth as great, and the change cannot be ignored because we deem it inappreciable [...] There is no limen of appreciable selection value to be considered ".

contraste existente entre a recepção, pelos contemporâneos de Darwin, da ideia de evolução, quando comparada à recepção da ideia de seleção natural:

[...] a teoria da seleção natural foi muito menos bem-sucedida. A evolução foi gradualmente aceita, mas houve uma suspeita generalizada da teoria selecionista mesmo entre os cientistas. Os Vitorianos não aceitaram a evolução pelo fato de estarem convencidos de que Darwin havia encontrado a explicação correta de como ela funcionava. Eles a aceitaram apesar de terem grandes reservas à seleção natural — o que significa que eles não teriam sido persuadidos pelos argumentos atualmente utilizados para fundamentar a teoria darwiniana moderna. A transição para uma visão de mundo evolucionista deve ter envolvido algo mais do que o mero peso das evidências a seu favor. Portanto, devemos estar cientes das estratégias retóricas e políticas daqueles que estavam promovendo a teoria [...] Michael Ruse (1996) argumenta que as evidências para a evolução nunca foram suficientemente fortes para persuadir alguém por si só: as pessoas se converteram ao darwinismo porque ele sustentava sua fé no progresso, e aqueles que se opuseram à teoria tendiam a fazê-lo porque rejeitavam essa fé, talvez por motivos religiosos. Estes são pontos importantes que reforçam a necessidade de envolver fatores não científicos em nossa compreensão dos debates científicos¹⁶⁶ [...] (BOWLER, 2009, p.178-179).

Para efetuarmos nossa reflexão, sob uma perspectiva de análise da causalidade, sobre o lugar da seleção natural na explicação evolucionista antes e após sua reconfiguração com a Síntese, guardaremos em mente algumas considerações. Em primeiro lugar, com a Síntese Evolutiva Moderna, as mutações genéticas assumiram o caráter de mecanismo responsável pela produção das variações herdáveis, cuja transmissão ao longo das gerações procede-se por meio do mecanismo de *particulate inheritance*. A partir da Síntese, portanto, as teorias evolucionistas serão, necessariamente, teorias mutacionistas. Nesse sentido, nós optamos por assumir o fenômeno das mutações como sendo o marco conceitual que servirá de ponto de partida para nossa análise. Conservaremos, evidentemente, a definição de mutação que adotamos previamente: mutação significa o processo de iniciação de qualquer nova variação herdável. Escolhemos, também, alguns referenciais analíticos adicionais, os quais nos importa agora explicitar. Categorizaremos como “causas *en amont*” das mutações aquelas capazes de influenciar o tipo e a frequência de ocorrência das mutações. Categorizaremos como “causas *en aval*” das mutações aquelas que, após produzida a alteração gênica que produz uma nova

¹⁶⁶ Traduzido de BOWLER, 2009, p.178-179: “[...] the theory of natural selection was much less successful. Evolution was gradually accepted, but there was widespread suspicion of the selection theory even among scientists. The Victorians did not accept evolution because they were convinced that Darwin had found the correct explanation of how it worked. They accepted it despite having major reservations about natural selection—and this means that they would not have been persuaded by the arguments now used to support the modern Darwinian theory. The transition to an evolutionary worldview must have involved something more than the sheer weight of evidence in its favor. Thus we must be aware of the rhetorical and political strategies of those who were promoting the theory [...] Michael Ruse (1996) argues that the evidence for evolution was never strong enough to persuade anyone by itself: people converted to Darwinism because it underpinned their faith in progress, and those who opposed the theory tended to do so because they rejected that faith, perhaps on religious grounds. These are important points which reinforce both the need to involve nonscientific factors in our understanding of the scientific debates [...]”.

variação herdável, são capazes de influenciar as frequências relativas dos novos alelos em relação aos alelos do mesmo *locus* associados à nova variação herdável e em relação aos alelos das demais variações herdáveis existentes. Com essas categorias analíticas causais em mente, buscaremos demonstrar que a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, de Charles Darwin, e a Teoria Genética da Seleção Natural, consolidada com as contribuições da Síntese, encerram perspectivas diferentes sobre a importância das causas *en amont* e *en aval* para o fenômeno evolutivo.

Para Fisher (1930, p. 12-17), as teorias da evolução mutacionistas que são construídas para explicar como forças hipotéticas são capazes de modificar a natureza ou a frequência das mutações – explicar as causas por nós categorizadas como *en amont* – são teorias cuja preocupação estaria concentrada na "direção" das mutações. Para essas teorias, nas palavras do próprio Fisher (1930, p. 13), “a direção da mudança evolutiva é governada pela direção predominante em que as mutações estão ocorrendo¹⁶⁷”. Teorias desse tipo adotam, ainda segundo Fisher, quatro linhas argumentativas para explicar o mecanismo pelo qual se procederia a influência na direção das mutações. A primeira dessas linhas argumentativas encontra, no estado mental dos organismos, a força capaz de produzir as mudanças que o beneficiam individualmente e que aprimoram, sobretudo, a aptidão de seus descendentes. O caso das explicações de Lamarck, que concebia a existência de um desejo inerente aos animais, que teria o poder de produzir mudanças nas características físicas dos indivíduos, incorpora argumento dessa ordem, sendo, por isso, ilustrativo desse grupo de teorias (BURKHARDT, 1977).

Um segundo trilha argumentativo, também comum às primeiras teorias transformistas e evolucionistas, supõe que os aumentos de atividade e tamanho de alguns órgãos da geração parental, produzidos em resposta a um aumento das necessidades fisiológicas no contato com o meio ambiente, seriam capazes de induzir mutações herdáveis pelos descendentes. Darwin, como vimos, compartilhava com Lamarck e seus contemporâneos esse pensamento de que os hábitos e o uso e desuso seriam capazes de direcionar as mutações das quais os organismos precisariam. Adiante demonstraremos como o argumento da herança das características adquiridas inverte, a nosso juízo, a relação de anterioridade causal entre mutações e adaptação, ao considerar as variações herdáveis como sendo um efeito da seleção natural dos caracteres adquiridos com valor adaptativo, não como o substrato sobre o qual a seleção natural agiria.

¹⁶⁷ A frase original de FISHER, 1930, p. 13, é a que segue: “*the direction of evolutionary change is governed by the predominant direction in which mutations are taking place*”.

Nesse momento, basta-nos mencionar que o direcionamento *en amont* das mutações pelos hábitos e pelo uso e desuso mostrou-se inconsistente com a transmissão genética das características herdáveis.

Uma terceira via de direcionamento das mutações considera a existência nos organismos de uma “tendência inata” – “*inner urge*”, nas palavras de Fisher (1930, p.13) – de variar numa certa direção. Essa ideia pode ser igualmente abarcada por meio do conceito de ortogênese, um processo que envolve uma tendência inata para variar em certas direções quando os ancestrais se diferenciam ou se diversificam para produzir descendentes com novas formas (GREHAN; AINSWORTH, 1985). Darwin reconheceu a existência de “tendências inatas” para as variações herdáveis, do caráter daquelas previstas pelo conceito de ortogênese, quando apresentou as noções de “correlações de crescimento” e de “leis do crescimento”, enunciadas no Capítulo I da *Origem das Espécies* – Variação sob domesticação. As “forças de dentro do organismo que predis põem para que a variação ocorra ao longo de caminhos fixos”, conforme especuladas por Darwin, foram, posteriormente, mal interpretadas e utilizadas por opositores do evolucionismo na construção de teorias que preservavam “um elemento de teleologia que contrariava o aparente materialismo da teoria Darwiniana” (BOWLER, 2009, p. 225). A ortogênese, se interpretada de forma precisa, desgarrada de qualquer misticismo, enseja, no entanto, um argumento científico. Ela pressupõe a existência de caminhos ancestrais de herança que pré-determinam a direção das mutações que se desenvolverão nas gerações posteriores mais recentes, sem que nesse processo precise haver influência de forças de ordem mental, de forças de qualquer origem não material, ou, ainda, interferência das necessidades do ambiente sobre elas (FISHER, 1930).

O quarto e último grupo de teorias que buscam explicar os mecanismos *en amont* capazes de modificar a natureza ou a frequência das mutações atribui ao meio ambiente a causa das mutações. Nessa linha argumentativa, o meio ambiente controlaria o curso da evolução, da mesma forma que, nas palavras de Fisher (1930, p. 13), “o curso de um projétil é controlado pelo campo de forças no qual ele voa”, em analogia evidente com as leis da cinemática. Conforme vimos, Darwin, ademais de reconhecer um papel para a herança adquirida pelos uso e desuso dos caracteres, de leis do crescimento, entre outras tendências, apontou, ainda, como causas para a produção de variações herdáveis, as mudanças nas condições de vida e o aumento da disponibilidade de alimento, fatores esses associados às circunstâncias ambientais às quais o organismo é submetido: “a variabilidade é governada por muitas leis complexas, como

correlação de crescimento, uso e desuso e influência direta das condições de vida” (DARWIN, 2018, p. 609).

Tomadas em conjunto, as reflexões acima nos levam a concluir que Darwin, ao construir a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, recorreu, com frequência, a causas *en amont* para explicar como as variações herdáveis condicionariam o processo evolutivo. Darwin, de fato, fez uso de três das quatro linhas argumentativas possíveis para o direcionamento das mutações: (i) herança das características adquiridas, (ii) tendências inatas e (iii) influência das condições de vida.

A Síntese Evolutiva Moderna demonstrou, conforme vimos anteriormente, que o mecanismo mendeliano de *particulate inheritance* é o responsável pelo fenômeno da transferência entre as gerações das variações herdáveis. O mecanismo de *particulate inheritance* requer uma frequência bem inferior de mutações para conservar uma dada variação herdável, da ordem de muitos milhares de vezes menor, quando comparada à frequência exigida para explicar a hereditariedade via modelo de *blending inheritance* (FISHER, 1930, p. 10). Em consequência dessa preeminência da *particulate inheritance* sobre a *blending inheritance*, a Síntese tornou desimportante a tentativa de explicar como a direção das mutações determinaria a direção do processo evolutivo:

A suposição tácita da teoria da *blending inheritance* levou Darwin, por um argumento perfeitamente coerente, a uma série de especulações sobre as causas das variações e os possíveis efeitos evolutivos dessas causas. Em particular, a *blending inheritance*, devido às enormes taxas de mutação que requer, levou Darwin e outros a atribuir importância evolutiva a forças hipotéticas que controlam a produção de mutações. Um mecanismo (o Mendelismo) de *particulate inheritance* foi descoberto desde então, exigindo mutações em uma extensão milhares de vezes menor. [...] A natureza das mutações observadas não é compatível com a visão de que a evolução é dirigida por meio delas, enquanto a frequência observada de sua ocorrência mostra que uma força controlando mutações seria totalmente ineficaz em governar a direção da mudança evolutiva¹⁶⁸ (FISHER, 1930, p. 20).

Diante do que precede, constatamos que, na Teoria Genética da Seleção Natural, sob a perspectiva da análise das relações de causalidade, a importância atribuída às causas *en amont* das mutações genéticas para o direcionamento do processo evolutivo é significativamente

¹⁶⁸ Traduzido de FISHER, 1930, p. 20: “The tacit assumption of the blending theory of inheritance led Darwin, by a perfectly cogent argument, into a series of speculations, respecting the causes of variations, and the possible evolutionary effects of these causes. In particular the blending theory, by the enormous mutation rates which it requires, led Darwin and others to attach evolutionary importance to hypothetical agencies which control the production of mutations. A mechanism (Mendelism) of particulate inheritance has since been discovered, requiring mutations to an extent less by many thousandfold. [...] The nature of the mutations observed is not compatible with the view that evolution is directed by their means, while their observed frequency of occurrence shows that an agency controlling mutations would be totally ineffectual in governing the direction of evolutionary change”.

menor, quase inexistente, quando comparada à importância atribuída pela teoria darwiniana original:

[...] é praticamente impossível, à luz da natureza da particulate inheritance, atribuir às mutações qualquer importância em determinar a direção da mudança evolutiva; sua importância na evolução reside em desempenhar o papel muito diferente de manter o estoque de variabilidade genética em um certo nível, nível esse que, por sua vez, é um fator na determinação da velocidade, mas não da direção do progresso evolutivo¹⁶⁹ (FISHER, 1930, p. 48).

Com a Síntese, portanto, os elementos determinantes da natureza e da frequência das mutações, por mais paradoxal que possa parecer essa conclusão, decrescem em importância como fatores causais na explicação do direcionamento do processo evolutivo. A investigação dos mecanismos capazes de influenciar o tipo e a frequência das mutações, persistirá, decerto, sendo objeto de estudo da genética molecular após a Síntese Evolutiva Moderna, sobretudo em áreas específicas, como na Medicina. É exemplo ilustrativo disso a linha de estudos experimentais dos processos físico-químicos envolvidos na produção de mutações cujos efeitos provocam desordens nos organismos, como doenças genéticas em seres humanos (MULLER, 1950). No entanto, para nossa reflexão sobre a causalidade evolucionista, importa salientar que houve perda relativa de importância das causas *en amont* das mutações para o curso do processo evolutivo. Essa inferência foi alcançada por meio de uma reconfiguração conceitual empreendida pela Síntese com base, entre outros aspectos, em uma análise quantitativa de adequação entre a frequência esperada de mutações em um modelo ideal e a frequência aferida de mutações em condições empíricas (FISHER, 1930, Capítulo II). Ora, a importância para o direcionamento do processo evolutivo das causas que interferem no tipo e na frequência das mutações não foi, portanto, invalidada pela Síntese, sob o ponto de vista lógico, mas sua efetividade empírica foi por ela relativizada, com auxílio de evidências oriundas dos estudos genéticos. Em nos reportando novamente à afirmação de Fisher, que recuperamos no início desta seção, de que seleção natural não é evolução, podemos, ao cabo dessa reflexão, estendê-la para asseverar, sem ressalvas, que tampouco mutação é sinônimo de evolução. Mutação constitui, de fato, mudança; "evolução, no entanto, não é meramente mudança, é um processo de mudança acumulativa" ao longo do tempo (WRIGHT, 1931, 142).

¹⁶⁹ Traduzido de FISHER, 1930, p. 48: "[...] it is scarcely possible, in the light of the particulate nature of inheritance, to ascribe to mutations any importance in determining the direction of evolutionary change; their importance in evolution lies in playing the very different role of maintaining the stock of genetic variance at a certain level, which level in its turn is a factor in determining the speed, though not the direction, of evolutionary progress".

3.8.a Encadeamento causal: mutação-fixação-evolução

Às luzes dessa reflexão, sentimo-nos mais confortáveis, neste momento, para retomar e melhor qualificar a relação causal que descrevemos anteriormente (seção 3.2 - Origens da variação herdável e seção 3.6 - Encadeamento causal mutação-evolução). Nestas seções, afirmamos que, para a Síntese, a mutação está na origem da variação herdável, que, por sua vez, está na origem da evolução. Por óbvio, esse encadeamento causal mutação-evolução permanece válido. No entanto, importa mencionar que há uma etapa intermediária nessa linha de causalidade cuja relevância gostaríamos de agora enfatizar. Trata-se do processo de "fixação" de uma mudança produzida por mutação no conjunto dos genes de uma população.

O fenômeno de transmissão da hereditariedade é caracterizado pela preservação da informação entre as gerações. As mudanças produzidas pelas mutações correspondem, portanto, a eventos que vão no contrassenso dessa tendência de conservação, tanto que, para a Síntese, elas são o resultado de falhas ocasionais no processo de preservação das informações genéticas, como nos esclarece Wright (1930, p.142): "o fator cumulativo básico na evolução é a extraordinária persistência da especificidade dos genes. Isso, sem dúvida, se baseia em uma tendência à duplicação precisa da estrutura dos genes no ambiente adequado. O fator de mudança básico é a mutação genética, a falha ocasional na duplicação precisa¹⁷⁰". Somente quando essas mudanças ocasionais, produzidas pelas mutações, são fixadas no conjunto de genes da população é que se configura, plenamente, a relação causal que marca o processo evolutivo: a transição da variação populacional para a evolução ao longo do tempo. Não há exagero, portanto, quando Wright (1931, p. 142) afirma que "a fixação, em alguns aspectos, é tão importante quanto a variação em outros¹⁷¹", sobretudo quando consideramos as dificuldades, em termos probabilísticos, para que a fixação ocorra, como nos recorda Fisher:

Uma mutação, mesmo que favorável, terá apenas uma chance muito pequena de se estabelecer na espécie se ocorrer apenas uma vez. Se sua vantagem seletiva for de apenas 1%, poderá ter que ocorrer 50 vezes — ou, no caso de indivíduos adultos, talvez até 250 vezes — antes de se estabelecer em um número suficiente de indivíduos para que suas perspectivas futuras estejam asseguradas¹⁷² (FISHER, 1930, p. 77)

¹⁷⁰ Traduzido de WRIGHT, 1931, p.142: "*The basic cumulative factor in evolution is the extraordinary persistence of gene specificity. This doubtless rests on a tendency to precise duplication of gene structure in the proper environment. The basic change factor is gene mutation, the occasional failure of precise duplication*".

¹⁷¹ Traduzido de WRIGHT, 1931, p.142: "*fixation in some respects is as important as variation in others*".

¹⁷² Traduzido de FISHER, 1930, p. 77: "*A mutation, even if favourable, will have only a very small chance of establishing itself in the species if it occurs once only. If its selective advantage is only 1 per cent, it may well have to occur 50 times, but scarcely in mature individuals as many as 250 times, before it establishes itself in a sufficient number of individuals for its future prospects to be secure*".

Afirmamos anteriormente que, conforme nosso entendimento sobre a Síntese, seleção natural não é evolução, e tampouco mutação é sinônimo de evolução. Podemos, agora, após essa reflexão, qualificar adicionalmente nosso entendimento sobre a relação causal evolucionista afirmando que, a nosso juízo, a evolução é, para a Síntese, a fixação pela seleção natural da variação herdável aportada pelas mutações. Isso nos conduz a complementar, com um termo adicional, o encadeamento causal mutação-evolução, reconfigurando-o para mutação-fixação-evolução.

Essa análise nos permite, de imediato, tomar consciência do espaço relativo que as causas *en aval* às mutações, em particular a seleção natural, viriam a adquirir com a Síntese Evolutiva Moderna. O princípio da seleção natural age na direção da conservação das características das espécies. Uma das objeções mais recorrentes, em termos históricos, a esse princípio seria à impossibilidade de atribuir, sob a perspectiva lógica, a uma força de conservação o papel de princípio-guia de um processo cuja principal característica é a mudança ao longo do tempo:

Tem sido argumentado por alguns que, como a seleção natural é um fator que reduz a variabilidade, sobretudo por meio da eliminação de tipos extremos, ela não pode ser o princípio orientador da evolução adaptativa. Do ponto de vista da evolução como um equilíbrio dinâmico, no entanto, o princípio-guia pode ser encontrado tanto no lado conservador quanto no radical¹⁷³ (WRIGHT, 1931, p. 146).

Ao demonstrar a influência da seleção natural nas causas *en aval* das mutações, por meio da fixação de genes alternativos e da produção de variação populacional, a Síntese perpetua, por caminhos algo distintos dos percorridos por Darwin, a centralidade desse princípio para a explicação evolucionista. Dito isso, temos a devida dimensão do que quis dizer Fisher quando enfaticamente afirmou que “todo o grupo de teorias que atribui a mecanismos fisiológicos hipotéticos, controlando a ocorrência de mutações, o poder de direcionar o curso da evolução, deve ser descartado uma vez que a ‘blending inheritance’ é abandonada. A única teoria remanescente é a da Seleção Natural”¹⁷⁴ (FISHER, 1930, p. 20-21). Diante dessa revalorização da importância da ideia de seleção natural para as explicações evolucionistas, os pensadores da Síntese dedicarão esforços para desenvolver um reforço conceitual adicional para esse

¹⁷³ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 146: “It has been urged by some that because natural selection is a factor which reduces variability, and most conspicuously by eliminating extreme types, it cannot be the guiding principle in adaptive evolution. From the viewpoint of evolution as a moving equilibrium, however, the guiding principle may be found on the conservative as well as on the radical side”.

¹⁷⁴ Traduzido de FISHER, 1930, p. 20-21: “The whole group of theories which ascribe to hypothetical physiological mechanisms, controlling the occurrence of mutations, a power of directing the course of evolution, must be set aside, once the blending theory of inheritance is abandoned. The sole surviving theory is that of Natural Selection”.

princípio, para que ele se tornasse consistente o suficiente para enfrentar as objeções que vinha enfrentando desde que foi inicialmente enunciado. Nesse sentido, Fisher, Wright e Haldane, lançando mão daquilo que lhes favoreciam suas competências intelectuais e seus treinamentos acadêmicos, fundamentarão o argumento de defesa da centralidade da seleção natural para o processo evolutivo em uma linha de raciocínio matemático probabilístico, diferentemente do conceito de seleção natural originalmente enunciado por Darwin e Wallace, cujas bases eram eminentemente qualitativas. Buscaremos, a seguir, esquematizar como esse desenvolvimento conceitual se procedeu.

Dado que a frequência de mutações, *in vitro* e *in vivo*, é extremamente baixa, seria necessário um período de tempo excessivamente prolongado para que uma mera variação herdável, na ausência de qualquer outro fator sobre ela a influenciar, viesse a se consolidar em uma população qualquer. Essa limitação, de ordem empírica, reduz a efetividade de qualquer teoria que se proponha a explicar o curso do processo evolutivo sem a previsão de forças a influenciar como variações herdáveis, uma vez introduzidas em uma população por uma mutação, são nela fixadas.

A frequência de mutações individuais em *Drosophila* raramente é maior do que uma em 100.000 indivíduos, e podemos tomar essa cifra como ilustração da ineficácia de qualquer mecanismo que controle apenas a direção predominante da mutação em determinar a direção predominante da mudança evolutiva. Pois, mesmo que a sobrevivência seletiva estivesse totalmente ausente, seria necessário um intervalo de tempo da ordem de 100.000 gerações para produzir uma mudança significativa com relação ao fator em questão na natureza hereditária da espécie. [...] Para que as mutações dominem a tendência da evolução, é necessário postular taxas de mutação imensamente maiores do que as que se sabe ocorrerem, e de uma ordem de magnitude que, em geral, seria incompatível com a *particulate inheritance*¹⁷⁵ (FISHER, 1930, p. 19-20).

Esse encadeamento inicial de raciocínio nos leva a assumir como premissa que, uma vez ocorridas as mutações, as frequências relativas dos alelos associados à nova variação herdável, com relação aos alelos das demais variações herdáveis existentes, deverá, necessariamente, se alterar ao longo do tempo, para que a variação populacional seja produzida e, conseqüentemente, a mudança evolutiva se proceda. A partir dessa premissa, cujas evidências empíricas oriundas dos experimentos genéticos permitem validar, infere-se a existência de

¹⁷⁵ Traduzido de FISHER, 1930, p. 19-20: "*The frequency of individual mutations in Drosophila is certainly seldom greater than one in 100,000 individuals, and we may take this figure to illustrate the inefficacy of any agency, which merely controls the predominant direction of mutation, to determine the predominant direction of evolutionary change. For even if selective survival were totally absent, a lapse of time of the order of 100,000 generations would be required to produce an important change with respect to the factor concerned, in the heritable nature of the species. [...] For mutations to dominate the trend of evolution it is thus necessary to postulate mutation rates immensely greater than those which are known to occur, and of an order of magnitude which, in general, would be incompatible with particulate inheritance*".

algum mecanismo ou de alguns mecanismos de seleção das variações herdáveis que serão eliminadas da população ao longo do tempo ou daquelas que serão nela conservadas. Com auxílio da estatística vigorosa de Fisher, Wright, Haldane e demais pensadores, a Síntese reconhece a existência de dois mecanismos de alteração *en aval* dessa taxa de variância das características herdáveis, (i) a sobrevivência atribuível ao acaso e (ii) a sobrevivência seletiva:

Essa taxa estará, de fato, suscetível a pequenas mudanças; primeiro, pela sobrevivência e reprodução ao acaso de indivíduos de diferentes tipos; e, em segundo lugar, pela sobrevivência seletiva, devido ao fato de que os genótipos são provavelmente desigualmente adaptados, pelo menos em certa medida, à sua tarefa de sobrevivência e reprodução¹⁷⁶ (FISHER, 1930, p. 9-10).

A importância relativa desses dois mecanismos, em termos quantitativos, não é, no entanto, idêntica, conforme demonstrado pelas equações fisherianas que integram o Teorema Fundamental da Seleção Natural, sobre o qual nos debruçaremos com mais delonga na seção seguinte (FISHER, 1930, Capítulos II, III e IV). De forma resumida, podemos entender que o efeito do acaso, que Fisher considerava como sendo “facilmente calculável”, se produziria por meio de uma redução sucessiva da variância na população, geração após geração, em uma intensidade¹⁷⁷ que seria tão menor quanto maior fosse o número de indivíduos componentes daquela população (FISHER, 1930, Capítulo IV). Em populações muito numerosas, o que é, em geral, a situação das espécies em habitats naturais, essa assertiva fisheriana nos conduz à conclusão de que a influência da sobrevivência ao acaso na alteração da variância é mínima, quase irrelevante (FISHER, 1930, p. 10). Isso faz da seleção natural uma força muito mais importante a influenciar a variabilidade das espécies:

Se, portanto, uma forma mutante existe em até 1.000 milhões de indivíduos em cada geração, podemos estar confiantes de que seus números ou foram aumentados, pelo menos até certo ponto, por seleção, que é um processo relativamente rápido; ou por mutação recorrente não contrariada pela seleção, que geralmente deve ser um processo muito mais lento; ou, se devemos supor que ela surgiu de um único ato de mutação e deve seus números atuais a aumentos devidos ao acaso, que o processo está em andamento há pelo menos 280 milhões de gerações, o que torna este processo o

¹⁷⁶ Traduzido de FISHER, 1930, p. 9-10: “*This ratio will indeed be liable to slight changes; first by the chance survival and reproduction of individuals of the different kinds; and secondly by selective survival, by reason of the fact that the genotypes are probably unequally fitted, at least to a slight extent, to their task of survival and reproduction*”.

¹⁷⁷ Em termos matemáticos, “*em uma população de n indivíduos reproduzindo-se de forma aleatória, a variância será reduzida pela metade*” devido a sobrevivência ao acaso, “*caso essa causa esteja agindo sozinha em $1/4$ n gerações*” FISHER, 1930, p.10). Quanto maior o número de indivíduos de uma população (n), portanto, maior será o número de gerações necessárias para reduzir à metade a variância

mais lento e, para números tão altos, o processo menos provável de todos¹⁷⁸ (FISHER, 1930, p. 80).

Essa centralidade dos mecanismos selecionistas nas explicações da Síntese Evolutiva Moderna justifica, a nosso juízo, a denominação dada por Fisher – que também utilizamos neste trabalho – para o conjunto teórico produzido pela Síntese, de Teoria Genética da Seleção Natural. No entanto, pelo menos uma ressalva nos sentimos obrigados fazer ao que viemos de enunciar. Há um tipo de mudança ao longo do tempo que, com a Síntese, poderia ser assumida como sendo inteira e exclusivamente causada por mutações, sem a influência da seleção natural. Seriam as reduções graduais e supressões de órgãos reconhecidamente inúteis. Fisher reconheceu essa possibilidade nas explicações de Weismann e com ela concordou, embora rejeitando o mecanismo de base por meio do qual Weismann explicava esse tipo de mutações:

A visão de Weismann de que, na ausência de qualquer seleção, um órgão inútil poderia diminuir, degenerar e, finalmente, desaparecer pela ação cumulativa de mutações sucessivas, e especialmente sua visão de que esse é o único tipo de mudança progressiva que poderia ocorrer apenas por mutações, sem a orientação da Seleção Natural, está totalmente de acordo com o conhecimento moderno sobre a natureza das mutações. O mecanismo especial, contudo, pelo qual ele tentou explicar a ocorrência sucessiva de mutações degenerativas deve ser considerado supérfluo¹⁷⁹ (FISHER, 1930, p. 16).

Recuperando, brevemente, o que August Weismann propunha, para ele haveria uma "seleção germinativa" nos estágios iniciais de formação dos organismos, que se procederia em um ambiente de competição entre os órgãos por nutrientes utilizados em sua formação. Esse mecanismo seria o responsável pela gradual supressão dos órgãos inúteis (WEISMANN, 1893). Fisher e os demais teóricos da Síntese Evolutiva Moderna rejeitaram, com base em evidências empíricas, a efetividade desse mecanismo seletivo proposto por Weismann (FISHER, 1930, p.16). A nosso juízo, ademais das oposições de ordem empírica, essa extrapolação por Weismann da ideia de competição por recursos de sobrevivência, que alcança o nível germinativo, ilustra uma incoerência nas conclusões lógicas que podem decorrer do uso, no evolucionismo, por analogia, da ideia de competição importada das teorias econômicas. Esse

¹⁷⁸ Traduzido de FISHER, 1930, p. 80: *"If, therefore, a mutant form exists in as many as 1,000 million individuals in each generation, we may be confident either that its numbers have been increased, at least up to a certain point, by selection, which is a relatively rapid process, or by recurrent mutation unopposed by selection, which must usually be a much slower process, or if we must suppose that it has originated in a single act of mutation and owes its present numbers to chance increases, that the process has been going on for at least 280 million generations, which makes it much the slowest and, for such high numbers, the least probable process of all"*.

¹⁷⁹ Traduzido de FISHER, 1930, p. 16: *"Weismann's view that in the absence of all selection a useless organ might diminish, degenerate, and finally disappear, by the cumulative action of successive mutations, and especially his view that this is the only type of progressive change, which could take place by mutations only, without the guidance of Natural Selection, is fully in accordance with modern knowledge of the nature of mutations. The special mechanism, however, by which he sought to explain the successive occurrence of degenerative mutations must be judged to be superfluous"*.

tipo de incoerência decorrente do uso do conceito de competição nos preocupa sobremaneira, de modo que voltaremos a essa discussão futuramente. Deixando de lado esse aspecto, importamos, nesse ponto de nossa reflexão, o fato de que a Síntese, com efeito, reconheceu a possibilidade lógica e empírica de mudanças evolutivas causadas exclusivamente por mutações, sem influência da seleção natural. No entanto, na Teoria Genética da Seleção Natural, o direcionamento de mudanças evolutivas causadas exclusivamente por mutações configura-se como uma via marginal. O princípio da seleção natural é considerado pela Síntese como sendo, portanto, indubitavelmente majoritário.

3.9 Vantagem seletiva, sobrevivência e seleção reprodutiva: da discricionariedade à matematização probabilística

Conforme vimos no Capítulo 2, quando apresentamos a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, para que se possa tecer conclusões sobre se uma determinada característica de uma população aumenta suas chances de sobrevivência em um determinado ambiente, Darwin recorreu, para validar logicamente seu argumento, à adoção de conceitos que permitem uma avaliação comparativa de uma população com as demais que com ela coabitam e que com ela concorrem pelos recursos limitados do ambiente. Nesse sentido, Darwin afirmou que existem características que aportam uma “vantagem” a uma população sobre as outras em sua adaptação ao ambiente que os cerca. Em outros termos, a população em questão desfruta de uma vantagem, em termos relativos, na concorrência por recursos limitados, que entendemos ser possível qualificar de “vantagem competitiva”¹⁸⁰. Dito isso, podemos afirmar que, para Darwin, uma população é bem adaptada às necessidades do ambiente em que vive como resultado de a seleção natural ter nela preservado as características as mais apropriadas possíveis, e por isso as mais vantajosas, em termos comparativos, para sua sobrevivência e reprodução nesse local (DARWIN, 2018, Capítulos III e IV).

Darwin não apresentou, contudo, um método rigoroso para a identificar a existência de vantagem competitiva, tampouco um critério preciso para aferir ou, minimamente, dimensionar

¹⁸⁰ Darwin associa diretamente a ideia de “vantagem” à luta entre as populações de um mesmo ambiente por recursos limitados de sobrevivência, como no seguinte trecho: “*Pois, como a luta entre os habitantes de cada região é sempre muito equilibrada, modificações extremamente pequenas na estrutura ou nos hábitos de um habitante com frequência lhe dão vantagem sobre outros, que modificações ulteriores, de mesma espécie, aumentariam ainda mais*”. (DARWIN, 2018, p. 145). Ele não enuncia, porém, explicitamente, o conceito de “vantagem competitiva”. Entendemos que a qualificação da palavra “vantagem” com o adjetivo “competitiva” sintetiza, de forma breve, direta e precisa, a ideia que fundamenta o conceito.

a magnitude dos ganhos em chances de sobrevivência e reprodução atribuíveis a uma determinada variação herdável, como nos deixa evidente este trecho da *Origem das espécies*:

É um exercício útil atribuir, em nossa imaginação, uma vantagem a uma forma qualquer em relação a outra. Provavelmente em nenhum caso saberíamos como proceder para obter esse resultado. Isso poderá nos convencer de nossa ignorância quanto às relações recíprocas entre os seres orgânicos, convicção tão mais necessária por ser de difícil aquisição. Faremos muito se não perdermos de vista que cada ser orgânico está em incessante luta para se multiplicar em razão geométrica e que, em algum período de sua vida, durante alguma estação do ano, em cada geração ou em intervalos, ele terá de lutar por sua vida e suportar uma destruição considerável. Quando refletirmos sobre essa luta, poderemos nos consolar com a ideia de que a guerra da natureza não é incessante, o medo não se faz sentir, a morte geralmente não tarda, e os vigorosos, os mais saudáveis e mais aventureiros, sobrevivem e se multiplicam (DARWIN, 2018, p. 139).

Na ausência, *a priori*, de um método rigoroso para identificar a existência de vantagem que uma determinada característica poderá conferir a uma população em sua adaptação ao meio, bem como dos benefícios por ela conferidos em termos de chances de sobrevivência e reprodução, o julgamento feito pelos naturalistas se procederá, obrigatoriamente, *a posteriori* de a determinada característica já ter sido selecionada como vantajosa. A nosso juízo, isso implicará a necessidade de encontrar ou, por vezes, de criar uma possível associação vantajosa que justifique o fato de a característica ter sido selecionada. É evidente que características que distinguem níveis taxonômicos elevados, como classe, ordem ou família, podem mais facilmente ter sua vantagem seletiva deduzida (FISHER, 1930, p. 54). Deve-se também reconhecer que o êxito na explicação da seleção de algumas características fenotípicas, como as cores de mariposas que mimetizam folhas e troncos de árvores e outros casos de mimetismo de insetos, auxiliaram a corroborar esse tipo de raciocínio construído *post facto*. No entanto, nos parece ser tarefa dificilmente viável e, sobretudo, inconsistente, sob o ponto de vista empírico, explicar os ganhos seletivos marginais de cada característica fenotípica observável nos organismos. Ilustra bem essa inconsistência o fato de que há vários casos na historiografia da biologia de explicações evolucionistas que apresentaram associações que, criadas para justificar a seleção de uma determinada característica, foram posteriormente modificadas ou inteiramente refutadas. São exemplos a associação do surgimento da visão em cores dos primatas com a necessidade de escapar de predadores, refutada por Nathaniel Dominy e Peter Lucas¹⁸¹ (2001), ou a associação entre pele clara em humanos e climas frios, refutada por Nina Jablonski e George Chaplin¹⁸² (2000). Dessas lacunas metodológicas na identificação e no

¹⁸¹ Ver DOMINY, Nathaniel J.; LUCAS, Peter W. Ecological importance of trichromatic vision to primates. *Nature*, v. 410, n. 6826, p. 363-366, 2001.

¹⁸² Ver JABLONSKI, Nina G.; CHAPLIN, George. The evolution of human skin coloration. *Journal of human evolution*, v. 39, n. 1, p. 57-106, 2000.

dimensionamento dos benefícios adaptativos relativos das características que seriam alvo da seleção natural decorrem, portanto, um elevado grau de subjetividade nos julgamentos sobre a vantagem seletiva e uma ampla latitude criativa dada aos naturalistas na elaboração de associações adaptativas. Esse componente de discricionariedade na construção das associações adaptativas pelos evolucionistas é amplificado, sobretudo, quando consideramos o caráter de longo prazo das mudanças às quais os conceitos evolucionistas tencionam explicar. Nesse contexto, torna-se, por vezes, tarefa difícil alcançar um consenso intersubjetivo entre os evolucionistas, sob uma lógica de convencionalidade (CARNAP, 2012), construir associações adaptativas com o rigor exigido pelo cientificismo. Essas consequências potencialmente indesejáveis repercutem sobretudo na esfera da efetividade empírica das explicações seletivistas e adaptacionistas e provocam, a nosso juízo, um enfraquecimento do poder explicativo global dos conceitos de vantagem seletiva, sobrevivência e adaptação, conforme originalmente propostos por Darwin.

Durante o processo de revisão conceitual do evolucionismo procedido pela Síntese Evolutiva Moderna, alguns pensadores, sobretudo Fisher, debruçaram-se sobre esse problema. A solução por eles encontrada foi reinterpretar o conceito de sobrevivência às luzes da estatística de populações: "Agora, o valor de sobrevivência é medido pela frequência com que certos eventos, como a morte ou a reprodução, ocorrem em diferentes tipos de organismos expostos às diferentes circunstâncias do mesmo ambiente" (FISHER, 1930, p. 15). Com a matemática fisheriana, a sobrevivência passou a configurar-se, portanto, em uma variável quantificável, inferida a partir da frequência com que os eventos específicos de morte e reprodução impactam no crescimento ou decréscimo populacional.

Para viabilizar, metodologicamente, essa matematização do conceito de sobrevivência, Fisher utilizou-se de um instrumento que já era comumente aplicado a sua época para cálculos atuariais de riscos por seguradoras, conhecido como "tabelas de mortalidade", em português, ou "life tables", em inglês. A oposição existente entre as nomenclaturas nas duas línguas – foco na morte, em português, e na vida, em inglês – não nos parece em nada prejudicar a interpretação desse tipo de tabela, tampouco o entendimento da estratégia empregada por Fisher no uso desse instrumento. Desse modo, recorreremos aqui indiferentemente às ideias de morte e vida, mortalidade e sobrevivência, dado que são polos espelhados, situados nos extremos do espectro de uma mesma cadeia de eventos.

A tabela de mortalidade apresenta, de forma seriada, para cada unidade de idade escolhida, a proporção de indivíduos da população em estudo que nasceram vivos e

sobreviveram até aquela idade (FISHER, 1930, p. 23). Tomando, como exemplo, para facilitar nosso entendimento, a aplicação da tabela de mortalidade em populações humanas, Fisher assim simplifica sua leitura e a inferência da probabilidade de morte a partir de seus dados:

[...] uma tabela de mortalidade pode mostrar que a proporção de pessoas que vivem até os 20 anos é de 88%, enquanto apenas 80% alcançam os 40 anos. Pode-se facilmente inferir que 12% das pessoas nascidas vivas morrem nos primeiros 20 anos de vida, e 8% nos segundos 20 anos. Assim, a tabela de mortalidade é equivalente a uma declaração da distribuição de frequências da idade de óbito na população em questão. A diferença entre cada valor de entrada e o valor de entrada anterior representa o número de mortes entre esses limites de idade, e essa diferença, dividida pelo número de sobreviventes na idade anterior, fornece a probabilidade de morte dentro de um período especificado para aqueles que vivem nessa idade¹⁸³ (FISHER, 1930, p. 23).

Ademais da matematização do conceito de sobrevivência, os estatísticos da Síntese adicionaram a ele uma outra dimensão. À ideia de probabilidade de morte, que sustenta o conceito de sobrevivência, Fisher associou, por meio de uma matematização análoga, a noção de “seleção reprodutiva”. A seleção reprodutiva é um importante conceito, que está ausente na *Origem das Espécies*. É verdade que podemos conjecturar que, ainda que indiretamente, nas entrelinhas, Darwin teria concebido a existência de uma relação entre sobrevivência e reprodução. Tomemos, por exemplo, os seguintes trechos da *Origem*, em que Darwin apresenta algumas condições necessárias ou favoráveis à ação da seleção natural:

Para que muitos indivíduos de uma mesma espécie possam ser mantidos em uma região extensa, é preciso que se encontrem condições favoráveis à sua livre reprodução (DARWIN, 2018, p. 88).

Dado que cada espécie tende, por sua taxa geométrica de reprodução, a multiplicar de maneira indefinida o número de seus indivíduos, e como a descendência modificada de cada espécie aumenta cada vez mais à medida que sua estrutura e seus hábitos se diversificam, capacitando-as a se apropriar de muitos diferentes lugares na economia da natureza, a seleção natural tende constantemente a preservar a prole mais diversificada de uma espécie qualquer (DARWIN, 2018, p. 613).

É possível supor, a partir desse tipo de enunciado, que Darwin reconhecia a existência de uma relação bidirecional entre sobrevivência e reprodução: para que a espécie sobreviva, os organismos que a constituem precisam se reproduzir; quanto mais os organismos se reproduzirem, mais espaço haverá para a ação da seleção natural na preservação das

¹⁸³ Traduzido de FISHER, 1930, p. 23: "[...] a life table may show that the proportion of persons living to the age of 20 is 88 per cent, while only 80 per cent reach the age of 40. It will be easily inferred that 12 per cent, of those born alive die in the first 20 years of life, and 8 per cent, in the second 20 years. The life table is thus equivalent to a statement of the frequency distribution of the age of death in the population concerned. The amount by which each entry is less than the preceding entry represents the number of deaths between these limits of age, and this divided by the number living at the earlier age gives the probability of death within a specified time of those living at that age".

características vantajosas para a sobrevivência da espécie. Podemos concluir que, para Darwin, sob o ponto de vista lógico, a reprodução é, portanto, requisito necessário para a sobrevivência. Entendemos não ser possível afirmar, contudo, que ele constrói a associação direta que estamos aqui discutindo, aquela entre as noções de "chances de reprodução" e "chances de sobrevivência", conforme emergiu da Síntese.

Há, ainda, um outro aspecto dessa discussão que merece nossa atenção. Conforme vimos, Darwin enuncia em seu livro *The descent of man, and selection in relation to sex*, pouco mais de uma década após a *Origem*, a noção de "seleção sexual", mecanismo por meio do qual a competição dos animais por parceiros do sexo oposto selecionaria algumas características que os aportariam melhores armas de combate ou os tornariam mais atraentes para suas contrapartes e, conseqüentemente, favoreceriam suas chances de acasalamento (BOWLER, 2009). Essa ideia de seleção sexual proposta por Darwin, embora possa ser elencada entre os fatores capazes de influenciar a reprodução dos organismos, não pode ser, tampouco, confundida com a noção de seleção reprodutiva que ora discutimos. A seleção sexual explica a preservação de características em uma espécie que ocorreria por caminhos outros que não aquele guiado pela seleção natural, "características como a plumagem brilhante de muitos pássaros machos, que pareciam improváveis de ter uma vantagem adaptativa e, portanto, não poderiam ter sido desenvolvidas pela seleção natural" (BOWLER, 2009, p. 196). Diferentemente da seleção sexual, a seleção reprodutiva, conforme formulada pelos pensadores da Síntese, não é alternativa à seleção natural. A seleção reprodutiva está interligada ao conceito de seleção natural. Em termos mais precisos, a taxa de reprodução e a taxa de morte são, com a Síntese, eventos a serem obrigatoriamente considerados em conjunto para que se possa proceder a inferência sobre as chances de sobrevivência (FISHER, 1930, Capítulo II). Com a Síntese, portanto, reprodução e morte passam a ser vistos como probabilidades de eventos iniciais a influenciar um mesmo resultado final, a sobrevivência, também entendida em termos probabilísticos (FISHER, 1930, p. 22).

Para construir essa associação definitiva entre reprodução e sobrevivência, Fisher recorreu às "tabelas de reprodução", ferramenta estatística semelhante às tabelas de mortalidade. Assim, nas tabelas de reprodução, as taxas de reprodução por faixa etária são interpretadas de forma análoga às taxas de mortalidade por faixa etária: para uma idade qualquer considerada, a tabela de reprodução nos fornece as chances de o organismo se reproduzir desde seu nascimento até a idade em questão (FISHER, 1930, p. 24). Enquanto, na tabela de mortalidade, as chances de morte são sempre crescentes à medida que a idade avança, na tabela

de reprodução, as chances de reprodução são menores nos períodos iniciais e finais de vida, porém mais elevadas em uma faixa etária mais central (FISHER, 1930, p. 28). Assim como para as taxas de mortalidade, Fisher formulou, portanto, equações matemáticas para descrever as chances de reprodução ao longo do tempo, que, em seu conjunto, contribuíram para uma reformulação mais ampla do conceito de sobrevivência pela Síntese.

3.10 Teorema Fundamental da Seleção Natural

Após termos refletido sobre a ressignificação das noções de sobrevivência e vantagem pela abordagem matemática dos conceitos evolucionistas procedida por Fisher, Wright, Haldane e sucessores, estamos melhor habilitados para compreender como a Síntese Evolutiva Moderna passará a conceituar a ideia de seleção natural. Conforme vimos, na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, o conceito de seleção natural é definido por Darwin, qualitativamente, nos seguintes termos:

Desse modo, pode-se perguntar como as variedades, ou espécies incipientes, como prefiro chamá-las, vêm a ser convertidas em espécies perfeitamente definidas, que, na maioria das vezes, são muito mais diferentes entre si do que as variedades de uma mesma espécie; ou como surgem esses grupos de espécies que constituem o que chamamos de gêneros distintos, mais diferentes entre si do que espécies de um mesmo gênero. Tudo isso se segue, como veremos neste capítulo, da luta pela vida. Devido a essa luta, qualquer variação, por menor que seja, e não importa qual a sua causa, tenderá à preservação do indivíduo e será, em geral, herdada por sua prole, desde que se mostre vantajosa para um indivíduo de uma espécie em suas infinitamente complexas relações com outros seres orgânicos e com a natureza externa. Desse modo, os descendentes terão mais chances de sobreviver, pois, entre os muitos indivíduos de uma espécie que nascem periodicamente, apenas um pequeno número não perece. A esse princípio, pelo qual cada variação mínima é preservada contanto que seja útil, dei o nome de seleção natural, para diferenciá-lo do poder humano de seleção. (DARWIN, 2018, p. 118).

O conceito de seleção natural receberá, com Fisher (1930) e seu Teorema Fundamental da Seleção Natural, um tratamento distinto, passando a ser definido sob bases eminentemente quantitativas. Nos permitiremos, nas linhas a seguir, tentar trazer a definição de seleção natural, e sua relação com a ideia de sobrevivência, de forma sintética e direta, a partir da detalhada descrição que Fisher elaborou de seu Teorema ao longo do Capítulo II do livro *Teoria Genética da Seleção Natural*¹⁸⁴. De nossa leitura da obra fisheriana, entendemos que, de acordo com as

¹⁸⁴ Nesta seção, mergulharemos a fundo em nossa reflexão sobre a obra de Fisher. Entendemos, por isso, ser oportuno apresentar a ressalva que segue. Fisher dedica os cinco capítulos finais de *A Teoria Genética da Seleção Natural* à aplicação de suas ideias à espécie humana. A nosso juízo, nesses infaustos capítulos, o matemático preciso e racionalista afiado dos capítulos iniciais abre espaço para especulações baseadas em valores morais

conceituações do Teorema, o princípio da seleção natural significa a taxa de adequação de uma dada espécie às necessidades do ambiente, aferida de acordo com a influência que suas características herdáveis atuais exercem sobre as taxas futuras de morte e reprodução de uma dada população dessa espécie. Como quadro normativo de fundo dessa cadeia que condiciona o desfecho futuro de sobrevivência (modificação nas frequências dos eventos de morte e reprodução) a características do presente (variação herdável atual) está um esquema de transmissão da hereditariedade probabilístico, o modelo de *particulate inheritance* fatorial mendeliano. Buscando dar maior concretude a essa sequência argumentativa, podemos considerar que, em uma população cuja taxa de crescimento pode ser quantitativamente aferida (seja ela ascendente, estacionária ou descendente), uma nova mutação apresentará uma tendência esperada de distribuição entre os indivíduos, com o passar das gerações. A seleção natural corresponderia aos desvios dessa tendência *default* de espalhamento da mudança, por influência das interações dos organismos com o ambiente circundante, seja na direção da preservação (fixação) ou da extinção da nova variação herdável. Diante do que precede, permitimo-nos rematar que o Teorema Fundamental¹⁸⁵ da Seleção Natural assume, a nosso juízo, o caráter de pedra angular que integrou os três pilares da Síntese Evolutiva Moderna: os conceitos qualitativos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural de Darwin; o modelo de *particulate inheritance* mendeliano de produção e transmissão entre as gerações das variações herdáveis; e a quantificação, com rigor matemático, procedida pelos estudiosos (como os biometristas) das distribuições das características biológicas nas populações.

Darwin (2018) enuncia um único resultado para a seleção natural: as modificações adaptativas das formas (características) que aprimoram o ajuste entre as aptidões dos seres vivos e as necessidades do ambiente circundante (adaptação), que, por sua vez, teriam como efeito

eugenistas maldisfarçados. Já chamamos atenção anteriormente para o fato de que não compartilhamos da interpretação de que o eugenismo teria sido “mácula” trazida para o evolucionismo por pensadores externos a ele, mas sim que se trata de uma ideologia, senão criada, pelo menos impulsionada de dentro por muitos dos grandes expoentes do naturalismo dos últimos dois séculos. Essa discussão é de caráter mais afeito às reflexões da filosofia da moral. Ela foge, portanto, ao escopo deste trabalho, de modo que não a prolongaremos aqui. Para nossos fins, importa salientar que, embora Fisher afirme, em seu próprio desfavor, que “*as deduções relativas ao Homem são estritamente inseparáveis dos capítulos mais gerais*” (FISHER, 1930, prefácio x), consideramos, *data venia*, que o trabalho intelectual por ele realizado na parte inicial de seu livro dispensa, sim, os comentários reunidos nos capítulos finais, e que seu trabalho encontra, sim, validade lógica independentemente deles. Diante disso, julgamos desnecessárias as especulações sobre a espécie humana contidas nos capítulos VIII, IX, X, XI e XII de *A Teoria Genética da Seleção Natural*. Assim sendo, não utilizaremos, em nenhum momento deste trabalho, esses capítulos finais, sem que isso implique prejuízo à nossa análise sobre as contribuições de Fisher para o desenvolvimento dos conceitos evolucionistas.

¹⁸⁵ Notamos que o Teorema Fundamental da Seleção Natural se assemelha, em alguma medida, ao Teorema Fundamental do Cálculo, que dá as bases da noção de limite, sendo esse um possível aspecto a ser explorado por investigações futuras.

produzir ganhos diferenciais na luta pela existência (sobrevivência) das populações, em comparação com as demais populações que vivem no mesmo ambiente. Da formulação darwiniana por nós acima resumida, podemos concluir que, uma vez que a seleção natural é assumida como sendo responsável pela mudança evolutiva; logo, toda e qualquer mudança evolutiva por ela produzida resulta em melhor ajuste adaptativo entre seres vivos e meio ambiente e, por consequência, aporta vantagens de sobrevivência. Existe, nessa tese darwiniana, uma associação causal direta entre seleção natural e sobrevivência das populações, de modo que a seleção de uma dada variação herdável adaptativa implica, necessariamente, o aporte por essa variação herdável de um ganho de sobrevivência.

O Teorema Fundamental da Seleção Natural passará a tratar esse problema – dos mais importantes para a tese evolucionista – de forma diferente, tomando as variações herdáveis em seu conjunto, não mais individualmente, e o resultado de sobrevivência em termos populacionais médios quantificáveis, como chances de sobrevivência e perpetuação da prole. Vejamos mais alguns detalhes de como Fisher procede, em termos metodológicos.

No que tange à definição do resultado de sobrevivência em termos populacionais médios, tomados dois grupos de indivíduos, que representam dois conjuntos gênicos distintos de uma mesma população, a aptidão para a sobrevivência¹⁸⁶ que suas respectivas variações genéticas lhes conferem é inferida, nas equações do Teorema, a partir da medida objetiva da permanência dos indivíduos desses grupos nas gerações futuras (FISHER, 1930, p. 34). Nesse cenário, podemos mais claramente entender que a Síntese Evolutiva Moderna enxergará a ação da seleção natural como a sobrevivência diferencial desses dois conjuntos gênicos, conforme representada, simbolicamente, e refletida, quantitativamente, no Teorema fisheriano e nas equações dos demais estatísticos da Síntese¹⁸⁷.

No que tange ao entendimento sobre as contribuições de cada variação herdável, conforme Fisher (1930, Capítulos IV e V), a vantagem adaptativa conferida por uma nova variação herdável é responsável pela modificação de sua prevalência, comparada, em termos

¹⁸⁶ A expressão “aptidão para a sobrevivência” será por nós utilizada como tradução para a expressão, em língua inglesa, por Fisher muito utilizada, “*fitness to survive*”. Nela, por óbvio, o sentido da palavra *fitness* diverge de sua acepção popular relacionada à posse de atributos positivos de força, velocidade, inteligência, etc. Esses atributos não estão, necessariamente, presentes nos organismos que desfrutam de aptidão para a sobrevivência (“*fitness to survive*”). O uso de *fitness* nas formulações fisherianas, relacionado ao uso restrito da palavra nas ciências biológicas, faz referência, na verdade, à adequação das características do organismo que amplia seus ganhos de sobrevivência.

¹⁸⁷ Sewall Wright apresentará, nas páginas 133 e 134 do livro *Evolução em populações mendelianas* (WRIGHT, 1931), a fórmula geral que reúne, em uma única equação, todos os efeitos dos fatores evolutivos, incluindo mutação, seleção e migração.

relativos, com a prevalência das demais variações existentes da mesma característica, ao longo das gerações sucessivas de descendentes de uma espécie. Nesse quesito, bem verdade, não há novidades conceituais, pois o que Fisher postula condiz com o pensamento de Darwin. Para a Síntese, no entanto, essa vantagem adaptativa atribuída pela nova variação herdável, se considerada individualmente, não necessariamente se converterá em uma alteração de frequência dos eventos de morte ou reprodução da população, ou seja, não necessariamente se converterá em ganho de sobrevivência. O efeito esperado da ação do princípio de seleção natural, aquele de alteração das chances de sobrevivência, não é considerado pela Síntese, portanto, como sendo um fenômeno “individualizável” por variação herdável, ou seja, como sendo um fenômeno cujo efeito pode ser determinado, exclusivamente, pela vantagem competitiva aportada por uma nova variação herdável individualmente considerada. Isso é válido mesmo nos eventuais casos em que a mutação que origina a variação herdável venha a ser grande, facilmente detectável e aparentemente vantajosa sozinha. O aumento das chances de sobrevivência da espécie dependeria, no pensamento da Síntese, da interação da nova variação herdável com as variações herdáveis existentes da mesma característica, bem como de uma interação dela com todo o pool de demais variações herdáveis da espécie, tendo-se sempre como pano de fundo para todas essas interações o conjunto de necessidades conjunturais impostas à espécie pelo ambiente circundante. Desse modo,

a taxa em que uma mutação aumenta em número às custas de seu alelomorfo dependerá, de fato, da vantagem seletiva que ela confere, mas a taxa em que uma espécie responde à seleção a favor de qualquer aumento ou diminuição de partes depende da variância hereditária total disponível, e não se isso é fornecido por mutações grandes ou pequenas¹⁸⁸ (FISHER, 1930, p.15-16).

Os efeitos desse processo de substituição de genes na constituição genética total da espécie, por serem invisíveis nas investigações ao nível individual e somente notados em análises estatísticas populacionais, foram por Fisher chamados de efeitos médios (“average effects”) (FISHER, 1930, p. 31). Fisher bem ilustra o significado desses efeitos médios produzidos pelas novas variações herdáveis, por mínimas que sejam, explicando como a alteração na frequência de genes influencia as medidas biométricas populacionais, recorrendo ao exemplo da estatura em populações humanas: “Independentemente das regras que regem o acasalamento e, conseqüentemente, a frequência de diferentes combinações de genes, a substituição de uma pequena proporção de genes de um tipo por genes de outro tipo produzirá

¹⁸⁸ Traduzido de FISHER, 1930, p. 15-16: “The rate at which a mutation increases in numbers at the expense of its allelomorph will indeed depend on the selective advantage it confers, but the rate at which a species responds to selection in favour of any increase or decrease of parts depends on the total heritable variance available, and not on whether this is supplied by large or small mutations”.

um efeito proporcional definido sobre a estatura média” (FISHER, 1930, p. 31). Como consequência dos efeitos médios conferidos por cada variação herdável, “a taxa de aumento na aptidão de qualquer organismo, em qualquer momento, é igual à sua variância genética em aptidão naquele momento” (FISHER, 1930, p.35). Podemos, agora, com mais limpidez, reiterar: com auxílio do Teorema Fundamental da Seleção Natural e teorizações matematizantes nesse sentido, a Síntese quebra, portanto, a associação direta e individualizada estipulada na teoria darwiniana original entre a vantagem adaptativa conferida por uma dada variação herdável e a sobrevivência da espécie; ela aporta um entendimento sobre a seleção natural que coloca em relevo a primazia dos efeitos médios acumulados das diversas variações herdáveis, por mínimas que sejam, no aumento mensurável das chances de sobrevivência e reprodução no futuro.

3.11 A matematização e os ajustes na causalidade evolucionista

O rigor das equações logarítmicas com as quais Fisher descreve as taxas de mortalidade, em uma idade específica, e as chances de reproduzir antes de morrer, bem como a aguçada capacidade dele e dos demais pensadores da Síntese para representar fatos biológicos por meio da simbologia matemática nos interessam menos que o conjunto de relações causais novas em torno dos conceitos evolucionistas que eles constroem com esse tipo de estratégia metodológica. Reflitamos um pouco mais sobre os ajustes na causalidade evolucionista advindos com essa abordagem matemática dos conceitos evolucionistas, que foi consubstanciada, com maestria, em ferramentas como o Teorema Fundamental da Seleção Natural de Fisher.

Em uma primeira reflexão a esse respeito, destacamos que a Síntese coloca as luzes sobre a influência que as variações herdáveis do presente, em suas interações com as necessidades do ambiente, exercem não somente sobre a sobrevivência diferencial, mas também sobre a reprodução diferencial de uma espécie no futuro, de modo a modificar a taxa de crescimento ou decréscimo populacional em direção a um novo estado estacionário. Essa importância da reprodução diferencial adveio, como mencionamos anteriormente, com a incorporação à teoria evolucionista da ideia de seleção reprodutiva. Agora, interessa-nos refletir sobre o lugar que esse conceito ocupa nas relações de causalidade evolucionista, no que tange sua relação com o princípio de seleção natural: a seleção reprodutiva é, para a Síntese Evolutiva Moderna, parte integrante e indissociável do sistema causal que explica o aumento das chances

de sobrevivência das espécies ao longo do tempo (FISHER, 1930, Capítulo II). A partir da Síntese, portanto, com essa associação definitiva entre as ideias de reprodução e seleção, as teorias selecionistas não visam a explicar como a seleção natural influencia a sobrevivência “ou” a reprodução das espécies, mas sim como a seleção natural influencia a sobrevivência “e” a reprodução das espécies.

Em uma segunda reflexão relativa aos ajustes da matematização da Síntese nas relações causais evolucionistas, notamos que a reconfiguração matemática procedida pela Síntese dos conceitos de vantagem, sobrevivência e seleção natural permitiu ao modelo evolucionista lidar com uma dificuldade que a ele se impunha desde seu nascedouro. Essa dificuldade é decorrente da forma como Darwin havia construído a cadeia de causalidades que suportou suas ideias iniciais de seleção natural e adaptação. Com base no que há pouco apresentamos e no que abaixo mais uma vez ilustraremos, podemos deduzir, sob a perspectiva da análise de causalidade, a existência, na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural proposta por Darwin, das seguintes relações de necessidade: (i) toda característica que foi preservada pela seleção natural aporta, necessariamente, uma vantagem competitiva para a população que a possui, (ii) o que se reflete, necessariamente, num aumento das chances de sobrevivência e reprodução dessa população.

É preciso lembrar também que as relações recíprocas entre os seres orgânicos e deles com as condições físicas de vida são infinitamente complexas e estritamente adaptadas. Por que então, diante da ocorrência de variações úteis ao homem, seria implausível que outras eventuais variações, de algum modo úteis para cada um dos seres na grande e complexa batalha pela vida, ocorressem ao longo de milhares de gerações? E, se elas de fato ocorrem, lembrando que nascem mais indivíduos do que poderiam sobreviver, como duvidar que indivíduos de posse de alguma vantagem em relação a outros, por menor que seja, tem mais chance de sobreviver e procriar sua espécie? E certo, por outro lado, que qualquer variação minimamente prejudicial é destruída sem apelação. Dou o nome de seleção natural a essa preservação das variações favoráveis e rejeição das prejudiciais. Variações que não sejam úteis nem prejudiciais não são afetadas por seleção natural, permanecendo como elementos fluidos, como se pode ver nas espécies ditas polimórficas (DARWIN, 2018, p. 143-144).

Essa associação necessária e ubíqua criada por Darwin, entre características vantajosas selecionadas pela seleção natural, por mínimas que fossem, e sobrevivência, viria a ser corroborada, com ainda mais intensidade, quando Darwin aceitou a ideia de “sobrevivência do mais apto”, enunciada por Herbert Spencer, em *Princípios da Biologia* (SPENCER, 2020). A aderência de Darwin a essa ideia é demonstrada pela inclusão, na quinta versão da *Origem das espécies*, da seguinte frase (ausente na primeira versão da *Origem*, de 1859):

Chamei esse princípio, pelo qual cada pequena variação, se útil, é preservada, de Seleção Natural, para destacar sua relação com o poder de seleção do homem. Mas a expressão frequentemente usada pelo Sr. Herbert Spencer, 'Sobrevivência do Mais Apto', é mais precisa e, às vezes, igualmente conveniente¹⁸⁹ (DARWIN, 1869, p. 72).

Essa cadeia de associações causais evolucionistas, conforme apresentada por Darwin, agravava a situação com que se deparavam os naturalistas que lhe sucederam, como anteriormente mencionamos, aquela de ter de encontrar ou, por vezes, até de ter de criar uma possível associação vantajosa que justifique não somente o fato de uma dada variação herdável ter sido preservada pela seleção natural, mas também como ela seria capaz de, sozinha, aumentar as chances de sobrevivência e perpetuação da prole. Em caso de falha em encontrar essas justificativas, os evolucionistas de outrora estariam relegando a essas características o status de "variações que não sejam úteis nem prejudiciais", como a elas se referiu Darwin no excerto acima. Os pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, ao recorrerem a uma abordagem probabilística, de base populacional, do problema, aliviaram – não é exagero afirmar – uma parte desse fardo dos evolucionistas. Isso porque o ajuste da relação causal procedido pela Síntese permitiu uma espécie de derrogação da obrigação que seria decorrente da necessidade de apresentar justificativas precisas para o ganho marginal de sobrevivência aportado por cada uma das variações herdáveis. A causalidade evolucionista estabeleceu-se em novos termos relacionais, na medida em que se passou a considerar como os efeitos médios das características das populações, tomadas em seu conjunto, não mais individualmente, causam aumentos das chances dessas populações de sobreviver e se reproduzir.

3.12 Efeitos da seleção natural

A reflexão acima, sobre as implicações lógicas dos desenvolvimentos conceituais da Síntese Evolutiva Moderna sobre a cadeia de causalidade evolucionista, nos leva a nos indagar sobre um outro aspecto: teria havido com a Síntese, em comparação com a teoria darwiniana enunciada na *Origem das espécies*, também uma reconfiguração no entendimento sobre os efeitos produzidos pela seleção natural ao longo do processo evolutivo? Para abordar esse

¹⁸⁹ Traduzido de DARWIN, 1896, p. 72: “I have called this principle, by which each slight variation, if useful, is preserved, by the term Natural Selection, in order to mark its relation to mans power of selection. But the expression often used by Mr. Herbert Spencer of the Survival of the Fittest is more accurate, and is sometimes equally convenient”.

questionamento, tratemos, inicialmente, das semelhanças conceituais quanto aos efeitos da seleção natural nos dois arcabouços teóricos, para em seguida, tratarmos das diferenças.

Nós entendemos que, tanto a Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural de Darwin, como a Teoria Genética da Seleção Natural que ampara a Síntese Evolutiva Moderna, ambas assumem como efeito primaz da seleção natural a produção de aptidão das espécies para a sobrevivência. Como discutimos anteriormente, a diferença nesse quesito reside no fato de a definição desses conceitos por Darwin ter sido feita de forma qualitativa, enquanto, com a Síntese, esses conceitos ganharam atributos estatísticos matematicamente descritíveis e quantificáveis relacionados às populações. Como já dissemos, esse desenvolvimento conceitual logrou aportar, a nosso juízo, contornos mais nítidos a algumas relações causais que, em Darwin, haviam sido apenas panoramicamente estabelecidas.

Adentrando as diferenças que entendemos existir entre os dois arcabouços teóricos – de Darwin e dos pensadores da Síntese – quanto aos efeitos da seleção natural, observamos, de partida, que Darwin assume que a adaptação dos organismos às necessidades do ambiente em que vivem, bem como a sintonia fina evidenciada no funcionamento dos órgãos de um dado organismo podem ser fruto de caracteres adquiridos herdáveis. Ao assumir como válido um argumento desse tipo, ele compromete-se com o entendimento de que a adaptação poderia ser considerada como uma das causas da origem da variação herdável e, por conseguinte, da variação populacional observável. Uma vez que, para Darwin, a adaptação é o instrumento por meio do qual age a seleção natural, constatamos, por corolário, que para ele a seleção natural poderia dar origem ao processo de produção de uma variação herdável. A variação herdável assume nele, portanto, o status cognitivo de um dos efeitos da seleção natural:

Darwin tinha poucas evidências diretas sobre esse ponto [variações herdáveis]; mesmo em *A Origem das Espécies*, o segundo capítulo sobre "Variação na Natureza" trata principalmente de variedades naturais suficientemente distintas para serem catalogadas por botânicos, e essas certamente eram consideradas por Darwin não como matéria-prima, mas como os produtos da evolução¹⁹⁰ (FISHER, 1930, p. 3).

Na Síntese Evolutiva Moderna, a relação prevista para as ideias de variação e seleção natural é diferente daquela prevista por Darwin nesse contexto. Na Síntese, como vimos, as mutações genéticas estão na origem das variações herdáveis, tendo sido refutados mecanismos alternativos de produção de variações herdáveis que não perpassem pelo desencadeamento de

¹⁹⁰ Traduzido de FISHER, 1930, p. 3: “*Darwin had little direct evidence on this point; even in the Origin the second chapter on 'Variation under Nature' deals chiefly with natural varieties sufficiently distinct to be listed by botanists, and these were certainly regarded by Darwin not as the materials but as the products of evolution*”.

um processo de mutações. Há, portanto, uma divergência no encadeamento dos argumentos de Darwin e dos pensadores da Síntese no que concerne a possibilidade de a seleção de caracteres adquiridos, com valor adaptativo, produzir variação herdável.

Temos ciência de que Darwin não atribui à herança dos caracteres adquiridos o status de única causa para a origem da variação herdável. Além disso, reconhecemos que, ao especular a existência de outras causas por ele desconhecidas para a variação populacional, Darwin abriu as possibilidades para a conciliação do restante de sua teoria com outras explicações para o fenômeno da hereditariedade que viessem a eventualmente serem elaboradas no futuro (como veio a ser, de fato, o caso, com a explicação oferecida pelos estudos de genética). É possível ponderar, ainda, que, ao aderir à ideia de herança dos caracteres adquiridos, Darwin nada mais fez que cancelar uma crença comum entre seus contemporâneos, sendo, nesse aspecto, um homem de seu tempo (BOWLER, 2009). No que pesem todas essas ressalvas apontadas na literatura evolucionista sobre a adesão de Darwin à noção de herança de caracteres adquiridos, as quais consideramos pertinentes, quisemos com nossa reflexão aqui salientar, no entanto, que essa linha argumentativa que Darwin validou não é, sob o ponto de vista do estudo da causalidade, anódina para sua teoria como um todo. A validação da ideia de herança de caracteres adquiridos implica, sob o ponto de vista lógico-normativo, uma inversão da relação de anterioridade entre a origem da variação herdável e as ideias de adaptação e seleção natural. Mencionamos anteriormente, quando discutimos a relação causal existente entre o fenômeno da reversão e a variação populacional, como Darwin também inverteu a relação de anterioridade desses entes. No caso da reversão, Darwin considerou a “tendência à reversão” como sendo uma das causas da variação populacional, não como um dos efeitos esperados da hereditariedade. Julgamos que Darwin incorreu no mesmo tipo de inversão da anterioridade causal quando considerou a variação populacional como sendo um efeito da seleção natural dos caracteres adquiridos com valor adaptativo, ao invés de considerar essa variação como o substrato sobre o qual a seleção natural agiria, conforme entendimento corrente a partir da Síntese. Nosso entendimento é, portanto, que não se pode questionar que Darwin inferiu a existência de uma relação de necessidade entre as ideias de variação populacional, seleção natural e adaptação, porém não logrou enunciar, com precisão, a posição desses entes na relação causal que estava propondo para explicar o fenômeno da evolução e formação de novas espécies. Logo, a maior precisão aportada pela Síntese para a relação de anterioridade entre esses princípios basilares do evolucionismo representa, a nosso juízo, um importante

refinamento conceitual da explicação causal evolucionista, que não deve, por isso, ser negligenciado ou ocultado.

A Síntese chamou a atenção, ainda, para um conjunto novo de efeitos da seleção natural, que não foram previstos por Darwin. Nossa leitura de Fisher, Wright, Haldane nos permite concluir que eles entendem o desenvolvimento da aptidão que resulta no aumento das chances de sobrevivência como o efeito final da ação do princípio da seleção natural, mas não como seu único resultado possível (ver, por exemplo, FISHER, 1930, Prefácio, p. X). Outros resultados possíveis para a seleção natural seriam, por exemplo, os fenômenos de dominância, de correlação (linkage) e outros mecanismos de substituição de alelos de um grupo gênico ou de substituição de um tipo de gene por outro (FISHER, 1930, Capítulos III, IV e V). Esses fenômenos seriam, eles também, efeitos da seleção natural, conforme nos deixa entender Fisher (1930, p. 53) quando discute a evolução das relações de dominância entre genes selvagens e novos mutantes:

A posição excepcional em relação à dominância dos genes do tipo selvagem entre seus alelos não se deve ao fato de eles serem os originais dos quais os outros surgiram por mutação, pois alelos mutantes têm sido observados surgir de outros mutantes, e genes mutantes podem sofrer mutação de volta ao tipo selvagem. Somos, portanto, levados a ver na dominância uma característica própria, não do predecessor em oposição ao sucessor em uma série de mudanças mutacionais, mas do tipo selvagem prevalente em oposição aos seus competidores mal-sucedidos. Além disso, a menos que abandonemos completamente a concepção evolutiva da modificação das espécies pela substituição ocasional de um gene pelo predecessor de onde surgiu, a existência da regra que dá dominância genética aos genes do tipo selvagem prevalentes exige que o novo gene bem-sucedido, de alguma forma, *se torne* dominante sobre seus competidores e, se ocorrerem mutações de reversão, também sobre seu predecessor. Os meios pelos quais isso pode ocorrer são de interesse especial na Teoria da Seleção Natural, pois revelam um efeito da seleção que nada tem a ver com sua ação bem compreendida em adaptar uma espécie ao seu lugar na natureza¹⁹¹ (FISHER, 1930, p. 53).

Tentando resumir essas ideias, podemos concluir que a Síntese Evolutiva Moderna nos demonstra que, como via *default* de dominância, os genes selvagens predominam sobre os

¹⁹¹ Traduzido de FISHER, 1930, p. 53: “*The exceptional position in respect to dominance of the genes of the wild type among their allelomorphs is not owing to their being the originals from which the others arose by mutation, for one mutant allelomorph has been observed to arise from another, and mutant genes to mutate back to the wild type. We are driven therefore to see in dominance a characteristic proper, not to the predecessor as opposed to the successor in a series of mutational changes, but to the prevalent wild type as opposed to its unsuccessful competitors. Moreover, unless we are to abandon altogether the evolutionary conception of the modification of species by the occasional substitution of one gene for the predecessor from which it arose, the existence of the rule which gives genetical dominance to genes of the prevalent wild type requires that the successful new gene should in some way become dominant to its competitors, and if back mutations occur, to its predecessor also. The means by which this can occur are of special interest in the theory of Natural Selection, for they reveal an effect of selection which has nothing to do with its well-understood action in fitting a species to its place in nature*”.

genes mutantes (FISHER, 1930, p. 48-53), estes últimos aparecendo, mais comumente, em caráter recessivo e em heterozigose. Wright corrobora esse entendimento:

Esses efeitos são facilmente compreendidos se a mutação for um processo acidental. Mudanças aleatórias em uma organização complexa têm maior probabilidade de causar danos do que de melhorá-la e, com relação aos produtos imediatos do gene, mudanças aleatórias têm maior probabilidade de resultar em inativação (e, portanto, provavelmente recessivas) do que em ativação aumentada¹⁹² (WRIGHT, 1931, p. 143).

Por efeito da seleção natural, a relação entre gene selvagem e um gene mutante que aporte maior aptidão tenderá a se modificar ao longo do tempo, em favor do gene mutante, no curso de um processo de evolução da dominância que altera frequências e modula a expressão dos alelos (WRIGHT, 1931, p. 101-106). Assim, com Darwin, a seleção natural é responsável por provocar mudanças de ordem fenotípica nas formas dos indivíduos; com a Síntese, a seleção natural, ao agir na preservação das variações herdáveis ao longo de todo o curso do fenômeno evolutivo, o faria por meio da produção de todo um conjunto de efeitos genéticos, ao nível molecular, que inclui, mas não se limita, àqueles com repercussões fenotípicas. Tendo as novas mutações como matéria-prima, esses efeitos outros da seleção natural seriam, portanto, capazes de produzir variação genética e variação populacional e, por consequência, serviriam de substrato para a mudança ao longo do tempo (evolução). À guisa de conclusão desta seção, essa reflexão nos permite, por fim, destacar o que julgamos ser uma importante distinção para o entendimento da causalidade do fenômeno evolutivo: variações genética e populacional não equivalem à evolução, embora todos esses fenômenos façam parte, nas teorias evolucionistas selecionistas, da cadeia de efeitos previstos para o princípio da seleção natural.

3.13 O acaso

A presença do acaso na estrutura lógica das explicações evolucionistas já podia ser identificada na obra de Darwin. Nos capítulos iniciais da *Origem das espécies*, ele menciona o acaso no contexto de uma especulação sobre as origens das variedades observáveis: "quando vemos a margem de um rio confusamente recoberta por diversas plantas de variados tipos, somos tentados a atribuir sua quantidade e suas espécies ao que chamamos de acaso" (DARWIN, 2018, p. 135). Ao longo da obra, ele aprofunda essa reflexão na direção de

¹⁹² Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 143: "These effects are easily understood if mutation is an accidental process. Random changes in a complex organization are more likely to injure than to improve it, and with respect to the immediate products of the gene, random changes are more likely to be of the nature inactivation (and hence probably recessive) than of increased activation".

apresentar o acaso como uma das causas para a variação populacional, embora, para ele, o acaso, sozinho, fosse insuficiente para explicar a variação das espécies:

Então, põe-se a pergunta: como essa diferença menor entre as variedades viria a se tornar maior entre as espécies? Que isso em geral acontece, deve-se inferir do fato de a grande maioria das espécies naturais apresentar diferenças nítidas, enquanto as variedades, que, presume-se, são os protótipos e progenitores de futuras espécies bem definidas, mostram diferenças mínimas e abstrusas. O mero acaso, por assim dizer, poderia fazer com que uma variedade diferisse de seus progenitores quanto a um caractere, e sua prole, por seu turno, também diferiria da variedade progenitora em relação ao mesmo caractere, porém em grau ainda mais acentuado. O que não é suficiente para explicar a ocorrência habitual de uma quantidade tão grande de diferença entre as variedades de uma mesma espécie e as espécies de um mesmo gênero (DARWIN, 2018, p. 179-180).

A nosso juízo, a análise de argumentos como os acima transcritos nos permite apreender que Darwin fez uso da ideia de acaso em sua aceção de aleatoriedade ou de ausência de causas específicas identificáveis na produção dos efeitos evolutivos. Notamos, portanto, que o acaso foi para Darwin uma solução retórica muito importante para cobrir sua lacuna de conhecimento sobre as causas profundas do fenômeno da variação, sem que ele precisasse apelar para as especulações causais relacionadas com a providência divina, muito comumente utilizadas por alguns de seus contemporâneos. Observamos que o próprio Darwin, em larga medida, viria a admitir essa sua estratégia retórica quando afirma que

Referi-me com frequência, até o presente momento, a variações – tão comuns e multiformes em seres orgânicos domesticados e, em menor grau, também nos que se encontram em estado de natureza –, como se elas se devessem ao acaso. Trata-se, é claro, de uma expressão inteiramente incorreta, mas ela serve ao menos para que reconheçamos plenamente a nossa ignorância em relação à causa particular de variação (DARWIN, 2018, p. 205).

Em nossa discussão sobre as diferenças entre *blending inheritance* e *particulate inheritance*, vimos a forma como a Síntese Evolutiva Moderna assimilou essa ideia levantada por Darwin, sobre a influência do acaso na produção da variação populacional. Segundo Fisher (1930), embora não haja tendência inerente à redução na variabilidade na *particulate inheritance*, a taxa de conservação das variações nesse modelo pode alterar-se ao longo do tempo, sob influência de importantes fatores, o acaso e a seleção natural e reprodutiva. A abordagem epistemológica da ideia de acaso foi, portanto, também procedida pela Síntese. Notamos, porém, que a Síntese o fez de uma forma diferente daquela escolhida por Darwin.

Ao invés de, como Darwin, recorrer ao acaso como recurso retórico para contornar o desconhecimento das causas particulares da variação, os pensadores da Síntese optaram por proceder uma matematização do conceito. A influência possível do acaso na produção de variação populacional ao longo do tempo foi, então, quantificada, o que permitiu demonstrar

que a taxa de alteração da variância herdável ao longo do tempo que pode ser atribuída ao acaso é minimamente significativa (FISHER, 1930, Capítulo IV). Assim sendo, mesmo com as baixas taxas de mutação requeridas pela *particulate inheritance*, o acaso, sozinho, não justificaria o aumento na prevalência dos alelos das novas variações herdáveis, tampouco a variação populacional e as mudanças das espécies ao longo do tempo. Caso se buscasse atribuir ao acaso essas mudanças, seria necessário adotar como referência um intervalo temporal superior à temporalidade em que esses fenômenos evolutivos se manifestam no mundo empírico. Em outros termos, a atuação isolada do acaso na alteração da prevalência das variações herdáveis, se efetiva, implicaria a necessidade de tempos significativamente mais longos para a ocorrência mudança evolutiva. Dessa forma, a matematização da ideia de acaso realizada pela Síntese permitiu ratificar, sob a forma de um argumento demonstrável o qual Darwin não havia logrado alcançar, que a influência do acaso na produção da variação populacional é, de fato, desimportante.

A aplicação da ideia de acaso nas explicações evolucionistas da Síntese Evolutiva Moderna não cessa, contudo, nessa influência (mínima) do acaso na produção de variação populacional. Um outro papel do acaso nos fenômenos evolucionistas, que, a nosso juízo, é igualmente relevante, e que não deve ser confundido com aquele que viemos de discutir, corresponde à influência do acaso nas chances de sobrevivência e reprodução. Como ponto de partida dessa reflexão, importa mencionar que não encontramos, em nossa leitura da obra de Darwin, ênfase particular nesse aspecto específico de influência do acaso. Bem verdade, para Darwin, a competição entre os seres vivos pelos recursos de sobrevivência seria o elemento determinante do desfecho entre vida e morte. Dada a ênfase nessa ideia de competição pela sobrevivência, não vislumbramos, em seu argumento, atenção especial ou, até mesmo, alguma margem clara para a consideração de outros fatores determinantes para a sobrevivência. Quando Darwin apresenta, na *Origem das espécies*, a relação que ele via entre os conceitos de seleção natural, sobrevivência e formação de novas espécies, ele o faz tendo a ideia de competição como eixo estruturante de sua tese, sem espaço previsto – e sem nenhuma menção – para a influência do acaso. Vejamos como ele próprio resume e ilustra seu encadeamento lógico:

Resumiremos agora, na medida do possível, pois se trata de um objeto intrincado, as circunstâncias favoráveis e desfavoráveis à seleção natural. Olhando para o futuro, concluo que, para as formas terrestres, uma ampla área de dimensões continentais que tenha passado por alterações de nível e apresente, assim, diversas fraturas, será a mais favorável ao desenvolvimento de novas formas de vida duradouras e de ampla disseminação, pois, por ter sido um continente com numerosos habitantes e uma variedade de espécies, é inevitável que estes tenham sido submetidos à severa competição. Quando, posteriormente, a área for convertida, por subsidência, em

grandes ilhas separadas, continuará havendo muitos indivíduos das mesmas espécies em cada uma delas, mas o cruzamento nas zonas-limite de disseminação de cada espécie será assim restringido; e, com a instituição de muitas barreiras de diferente ordem, a imigração será impedida e novos locais do território de cada ilha terão de ser preenchidos por modificações de habitantes antigos; o tempo permitirá que, em cada uma delas, as variedades se modifiquem e se aprimorem. Quando uma nova elevação venha a reconverter as ilhas em área continental, voltará a haver severa competição: as variedades mais favorecidas ou mais aprimoradas poderão se espalhar; haverá considerável extinção de formas menos aprimoradas e o número relativo proporcional dos vários habitantes do novo continente mudará mais uma vez; e, com isso, haverá amplo escopo para que a seleção natural aprimore ainda mais os habitantes, produzindo, assim, novas espécies (DARWIN, 2018, p. 175).

Com a Síntese Evolutiva Moderna, a influência do acaso sobre as chances de sobrevivência desperta interesse particular. Assim como aconteceu com outros conceitos, o acaso receberá um tratamento estatístico. Ele passará a ser tratado como flutuações nas chances de sobrevivência decorrentes de condições conjunturais impostas pelo ambiente, flutuações essas capazes de influenciar o nível esperado de permanência dos indivíduos nas populações em condições ideais de equilíbrio populacional. No Teorema Fundamental da Seleção Natural, Fisher assume essas flutuações como sendo um "erro-padrão", uma variável estatística quantificável e cujos efeitos sobre a sobrevivência são distinguíveis dos efeitos esperados da seleção natural sobre a sobrevivência:

Como o teorema é exato apenas para populações idealizadas, nas quais flutuações fortuitas na composição genética foram excluídas, é importante obter uma estimativa da magnitude do efeito dessas flutuações ou, em outras palavras, obter um erro-padrão adequado à taxa calculada, ou esperada, de aumento na adaptação¹⁹³ (FISHER, 1930, p. 35).

Em termos lógico-normativos, essa perspectiva estatística da Síntese de entendimento do acaso, conforme traduzida pelo Teorema fisheriano, implicará em uma incorporação do conceito à própria definição de seleção natural, de modo que seleção natural passa a ser definida, precisamente, como "a taxa de progresso de uma espécie em aptidão para sobreviver (sendo esse termo usado para um atributo estatístico bem definido da população), conjuntamente com a relação entre essa taxa de progresso e seu erro-padrão"¹⁹⁴ (FISHER, 1930, p. 37).

¹⁹³ Traduzido de FISHER, 1930, p. 35: "*Since the theorem is exact only for idealized populations, in which fortuitous fluctuations in genetic composition have been excluded, it is important to obtain an estimate of the magnitude of the effect of these fluctuations, or in other words to obtain a standard error appropriate to the calculated, or expected, rate of increase in fitness*".

¹⁹⁴ Traduzido de FISHER, 1930, p. 37: "*[...] the rate of progress of a species in fitness to survive (this term being used for a well-defined statistical attribute of the population), together with the relation between this rate of progress and its standard error*".

Nos permitindo ir um pouco mais a fundo nessa reflexão sobre ideia de acaso na Síntese, entendemos ser relevante notar que Fisher formaliza, em uma equação matemática, esse erro-padrão associado à sobrevivência atribuível ao acaso. Nessa equação, Fisher relaciona o acaso com as variáveis que influenciariam sua ocorrência, a saber: a variação genética da aptidão, o número de indivíduos que se reproduzem em cada geração e o tempo de uma geração¹⁹⁵. Se buscarmos entender a origem dessa formulação, notaremos que Fisher encontra nas leis que descrevem o comportamento dos gases sua inspiração para associar o erro-padrão a um desvio da regularidade esperada (FISHER, 1930, p. 36). Para nosso interesse, importa o fato de que as relações entre as variáveis demonstradas pela equação nos permitem deduzir que o efeito do acaso sobre a aptidão associada à variação genética, dado que é inversamente proporcional ao número de indivíduos por geração, será mínimo, mesmo que venhamos a considerar apenas algumas poucas gerações em nossa análise. Nas palavras de Fisher, “espera-se que as flutuações aleatórias em W [variação genética da aptidão], mesmo medidas ao longo de apenas uma única geração, sejam muito pequenas em comparação com a taxa média de progresso”¹⁹⁶ (FISHER, 1930, p. 36).

Dessa forma, assim como ocorrido com relação à influência do acaso na produção de variação populacional, a abordagem matemática do conceito, conforme procedida pela Síntese, logrou demonstrar que a influência do acaso na alteração das chances de sobrevivência é, no longo prazo, mínima. Restava evidente para os pensadores da Síntese, portanto, que deveria haver outra causa, além do acaso, a produzir a variação populacional e a provocar as diferenças nas chances de sobrevivência e reprodução populacionais, fenômenos que estão na base da ocorrência da mudança das espécies ao longo do tempo. Essa outra causa seria, para os pensadores da Síntese, a seleção natural. Diante desse e de outros argumentos que apresentamos anteriormente, permitir-nos-emos, nesse ponto de nossa reflexão, reiterar que a validade e a efetividade do princípio da seleção natural foram reforçadas pelos desenvolvimentos epistemológicos procedidos pela Síntese Evolutiva Moderna. Mais do que isso. A Síntese, inspirada em princípios do modelo de causalidade das ciências modernas e contemporâneas, como a matematização, e, até mesmo, em teorias específicas das ciências físicas, como a Teoria

¹⁹⁵ A equação exata, conforme, enunciada por Fisher, pode ser assim descrita: o inverso do tempo de uma geração, multiplicado pela raiz quadrada da variação genética da aptidão, dividida pelo dobro do número de indivíduos que se reproduzem em cada geração. Em notação matemática, conforme associações simbólicas estabelecidas por Fisher, temos: $1/T \times \sqrt{W/2n}$, onde “ T ” é o tempo de uma geração, “ W ” a variação genética da aptidão e “ n ” o número de indivíduos que se reproduzem em cada geração. (FISHER, 1930, p. 36).

¹⁹⁶ Traduzido de FISHER, 1930, p. 36: “*the random fluctuations in W , even measured over only a single generation, may be expected to be very small compared to the average rate of progress*”.

Cinética dos Gases, ratificou a inferência de Darwin, por caminhos lógicos e metodológicos diferentes daqueles por ele percorridos, de que a seleção natural possuiria o status cognitivo de lei fundamental da natureza:

Notar-se-á que o teorema fundamental provado acima [Teorema Fundamental da Seleção Natural] apresenta algumas semelhanças notáveis com a segunda lei da termodinâmica. Ambos são propriedades de populações, ou agregados, verdadeiras independentemente da natureza das unidades que os compõem; ambos são leis estatísticas; cada um exige o aumento constante de uma quantidade mensurável: em um caso, a entropia de um sistema físico e, no outro, a aptidão [fitness], medida por m , de uma população biológica. Assim como no mundo físico podemos conceber sistemas teóricos nos quais as forças dissipativas estão totalmente ausentes, e nos quais consequentemente a entropia permanece constante, podemos conceber — embora devamos não esperar encontrar — populações biológicas nas quais a variância genética seja absolutamente zero, e nas quais a aptidão [fitness] não aumente. O Professor [Arthur] Eddington comentou recentemente que “A lei de que a entropia sempre aumenta — a segunda lei da termodinâmica — ocupa, eu creio, a posição suprema entre as leis da natureza”. Seria muito elucidativo pensar que uma lei semelhante a ela ocupe a posição suprema entre as ciências biológicas¹⁹⁷ (FISHER, 1930, p. 36-37).

3.14 Adaptação como conformidade

Na Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, os conceitos de adaptação e de seleção natural estão indissociavelmente vinculados um ao outro, na medida em que, para Darwin, a seleção natural aperfeiçoa “todas as requintadas adaptações de uma parte do organismo a outra e às condições de vida e as de um ser orgânico a outro” (DARWIN, 2018, p. 117). Conforme vimos no Capítulo 2, Darwin não apresentou, contudo, definição explícita e precisa para o conceito de adaptação. Da mesma forma como ele procedeu com relação à ideia de seleção natural, a noção de adaptação foi apresentada por meio de uma analogia extraída a partir do estudo dos fenômenos envolvendo o cultivo de plantas e a criação de animais pelo homem em condições artificiais:

Por lento que seja esse processo, se o homem, com seus débeis poderes, é capaz de tantas realizações por meio de seleção artificial, não vejo limite para a quantidade de modificação, ou ainda, para a beleza e a infinita complexidade das coadaptações entre os seres orgânicos, uns aos outros e em relação às suas condições de vida, em virtude

¹⁹⁷ Traduzido de Fisher, 1930, p. 36-37: “It will be noticed that the fundamental theorem proved above bears some remarkable resemblances to the second law of thermodynamics. Both are properties of populations, or aggregates, true irrespective of the nature of the units which compose them; both are statistical laws; each requires the constant increase of a measurable quantity, in the one case the entropy of a physical system and in the other the fitness, measured by m , of a biological population. As in the physical world we can conceive of theoretical systems in which dissipative forces are wholly absent, and in which the entropy consequently remains constant, so we can conceive, though we need not expect to find, biological populations in which the genetic variance is absolutely zero, and in which fitness does not increase. Professor Eddington has recently remarked that ‘The law that entropy always increases the second law of thermodynamics holds, I think, the supreme position among the laws of nature’. It is not a little instructive that so similar a law should hold the supreme position among the biological sciences”.

do poder de seleção da natureza, que atua em longos períodos (DARWIN, 2018, p. 176).

Entendemos, a partir de nossa leitura da *Origem das espécies*, que adaptação, conforme enunciada por Darwin, pode ser compreendida como sendo a adequação das características dos indivíduos de uma população às necessidades do meio circundante – neste incluindo-se tanto o meio ambiente físico quanto as demais populações que com que a população em questão nesse meio convivem –, tendo como consequência uma vantagem competitiva para sua sobrevivência e reprodução que favorecerá, no longo prazo, essa população. Se avançamos nossa reflexão sobre essa conceituação de adaptação em Darwin, podemos notar que ela depende, a nosso juízo, da aceitação de uma racionalidade fundada na noção de ordem natural das coisas. Sob uma tal perspectiva de entendimento da realidade, mais adaptado seria o indivíduo que está mais harmonicamente inserido no meio que o circunda, que está mais ajustado à ordem da natureza, afinal "a estrutura de cada ser orgânico tem estreita correlação, embora nem sempre seja clara, com a de todos os seres orgânicos com os quais ele entra em competição por alimento e habitação, dos quais tem de escapar ou dos quais é predador" (DARWIN, 2018, p. 137).

Dois aspectos relacionados à essa vinculação que vemos em Darwin entre a ideia de adaptação e a noção de ordem harmoniosa da natureza nos interessam sobremaneira. O primeiro desses aspectos diz respeito à própria ideia de ordem harmônica da natureza. A ideia de ordem está associada à existência de permanências e constâncias no mundo material em meio ao caos que aparentemente nos sugerem nossos sentidos. Em uma era prévia ao surgimento da filosofia, a origem dessa ordem poderia ser encontrada em narrativas míticas (cosmogonias míticas) (ABRANTES, 2016, p. 34). Em religiões monoteístas, como o cristianismo, a ordem seria imposta ao cosmos de fora, por um agente inteligente divino (visões religiosas de ordem). Na filosofia, a palavra "ordem" remonta sua origem à palavra grega "kosmos" – mundo ordenado¹⁹⁸ (ABRANTES, 2016, p. 36). Em algumas correntes filosóficas, como o estoicismo e o neoplatonismo, a organização e o funcionamento perfeito da natureza, em seus diversos níveis, decorreria de uma ordem imanente, transcendental¹⁹⁹ ao mundo material (visões cosmológicas

¹⁹⁸ A palavra "cosmos" ganhou uma nova conotação, nas ciências físicas, com a publicação da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein. O termo passou a ser empregado pelos físicos em seus estudos voltados ao entendimento da estrutura espaço-tempo em uma larga escala, aquela do universo, com uso do instrumental conceitual da teoria einsteiniana (HONDERICH, 2005). A Teoria da Relatividade Geral foi publicada em 1915, mais de meio século após a *Origem das espécies* e cerca de três décadas após o falecimento de Darwin. Como aqui refletimos sobre os escritos de Darwin, nos referiremos às conotações filosóficas de "cosmos" conforme existentes previamente às teorias de Einstein, as quais fazem alusão à ideia de ordem.

¹⁹⁹ Para os estoicos, o "pneuma", uma espécie de força ou entidade etérea, preencheria todos os corpos e os espaços entre eles, tanto no mundo terrestre quanto na esfera celeste, e seria a responsável pela conexão imanente, necessária e permanente entre tudo o que existe no cosmo. Para os neoplatônicos, a "alma do mundo" assume essa

de ordem) (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 1983). Em comum a essas concepções metafísicas tão distintas de mundo – visões cosmogônicas, religiosas e cosmológicas de ordem – está o fato de que se tratam de visões idealizadas de ordem, nas quais as relações causais e regularidades estão todas, necessariamente, conectadas entre si, para formar um todo orgânico e harmonioso, cimentadas seja por resultado da ação do(s) divino(s), seja por força sobrenatural transcendente ou imanente ao todo (FERRY, 2008).

Sob uma perspectiva científica de realidade, as regularidades e padrões observáveis não derivam de elementos externos ao mundo material, como seres sobrenaturais ou planos metafísicos idealizados de existência. É uma ordem sem mitos, sem deuses e sem instâncias imanentes ou transcendentais. Para a ciência, adicionalmente, essas regularidades e padrões observáveis do mundo material, que constituem os princípios e as relações causais apreensíveis com recurso à razão e por intermédio dos sentidos (direta ou indiretamente), não estão alinhados, de forma necessária, uns com os outros, para a consecução de um propósito específico qualquer, tampouco para a consecução de um propósito mais amplo, aquele da formação de um todo harmônico coerente. A ideia de ordem na ciência situa-se, portanto, na dimensão epistemológica e está, por consequência, destituída de seu componente metafísico de organicidade. Luc Ferry (2008, p. 48-49), com auxílio do poeta John Donne, nos traz avivadas imagens dessas diferenças existentes entre concepções metafísicas de ordem, como a visão cosmológica, e a concepção científica de realidade, contraste esse ainda mais evidente no período pós-Revolução Científica:

[...] no lugar do *kósmos* fechado, harmonioso, eterno e perfeito, justo e belo dos antigos, a ciência moderna nos descreve um mundo infinito, caótico, um tecido de forças sem alma, de movimentos e de choques cegos, situados num espaço e tempo radicalmente desprovidos de todo limite, de toda significação e de toda referência. Como disse um de nossos maiores historiadores das ciências [*Alexandre Koyré*], passamos em dois séculos do "mundo fechado" dos antigos para o "universo infinito" da ciência moderna. É o que exprimem esses versos do poeta John Donne, que traduzem perfeitamente o estado de espírito dos cientistas da época (estamos em 1611): "A nova filosofia torna tudo incerto... / Tudo está em pedaços, toda coerência desapareceu / Já não há relações justas, nada mais se acorda" (FERRY, 2008, p.48).

Mantivemos, na citação de Ferry, a referência ao poema de John Donne, porque entendemos que esse poeta, embora possa ser considerado um naturalista, consegue, graças a sensibilidade e a perspicácia que lhe são peculiares, nos trazer o âmago da ideia que interessa a nossa reflexão: com as ciências modernas, não há mais "relações justas", a palavra "justas" aqui

função de garante da imanência da ordem exercida pelo "pneuma" dos estoicos (Ver ABRANTES, 2016, pp. 82-88; 116).

sendo empregada no sentido de "justeza" (não de justiça); e "nada mais se acorda", em outros termos, nada mais está de acordo, em conformidade com a ordem esperada. Ora, podemos concluir que as ciências modernas, para apresentar suas explicações, dispensaram a noção de ajuste à ordem harmoniosa geral do mundo. As explicações científicas modernas encontrarão seu fundamento de verdade na conformidade com regularidades e leis que são, portanto, independentes metafisicamente (em essência) umas das outras, pois a relação entre elas se estabelece sob o ponto de vista epistemológico (em nosso entendimento).

A reflexão acima, sobre o abandono da noção de ordem harmoniosa da natureza pelas ciências modernas, nos leva de volta à análise sobre como essa transição poder-se-ia ter procedido nas explicações evolucionistas. Visões cosmológicas de ordem têm permeado as explicações dos fenômenos biológicos desde a Antiguidade Clássica, sendo as ideias naturalistas oriundas do estoicismo exemplo ilustrativo disso:

[...] para os estoicos - que são no que a isso se refere a culminação da grande tradição filosófica grega que começa com Parmênides e prossegue nas obras de Platão e Aristóteles -, o mundo deve ser pensado antes de mais nada como uma ordem magnífica, ao mesmo tempo harmoniosa, justa, bela e boa [...] É o que designa em grego a palavra *kósmos* (ordem) [...] Para os estoicos, o mundo é uma ordem organizada. Ele é exatamente à imagem do que um médico, um fisiologista ou um biólogo descobrem quando abrem a barriga de um coelho ou de um rato: não só cada órgão é maravilhosamente feito para preencher sua função (seru *érgon*), como, ademais, o conjunto forma um todo perfeitamente coerente, "lógico", por assim dizer, infinitamente superior a todas as máquinas fabricadas pelos homens" (FERRY, 2008, p. 25).

Dois dos amigos mais próximos e interlocutores frequentes das correspondências de Darwin, Asa Gray e Thomas Huxley, eram adeptos de uma visão cosmológica de ordem e a exaltavam em seus escritos. É possível que Darwin compartilhasse com Gray e Huxley essa visão, conforme esses dois pensadores sugeriram quando da publicação de suas resenhas sobre a *Origem das espécies*, em 1860, um ano após o lançamento da primeira edição por Darwin:

Concebendo assim o poder divino em um ato coetâneo ao pensamento divino, e ambos como tão distantes quanto poderiam estar da temporalidade humana, Agassiz pode considerar a intervenção do Criador, em termos humanos, seja como feita de uma vez por todas ou reiterada eternamente. Em última instância, todo teísta de pendor filosófico deve adotar uma dessas concepções. A perversão da primeira delas leva ao ateísmo, a noção de que haveria uma eterna sequência de causas e efeitos da qual não há causa primeira – visão à qual poucas pessoas sadias poderiam se acomodar. A ameaça que paira sobre a segunda é o panteísmo. De nossa parte, sentimo-nos ao abrigo de ambos os erros, em nossa profunda convicção de que há uma ordem do universo; de que ordem pressupõe mente, desígnio, vontade; e de que mente ou vontade pressupõem personalidade. Assim resguardados, preferimos, à segunda concepção de causalidade, a primeira, mais filosófica bem como mais cristã, que nos deixa com as mesmas dificuldades e os mesmos mistérios em relação à natureza e à providência, mas nenhum outro além desses. A lei da natureza equivale aí à concepção humana da ação divina contínua e ordenada (GRAY, Asa. Extraído de *The American*

Journal of Science and Arts, vol. 89, n. 36, mar. de 1860. In: DARWIN, 2018, p. 674-675).

Uma ordem harmoniosa, que governa um progresso eternamente contínuo; a teia formada pela matéria e pela força que lentamente entrelaçam, sem um fio interrompido, o véu que se põe entre nós e o infinito, compondo o único universo que conhecemos ou poderíamos conhecer – tal é a imagem do mundo que a ciência desenha –, e, conquanto uma parte esteja em uníssono com as demais, poderemos estar certos de que foi bem desenhada. Deveria a biologia, e apenas ela, permanecer em desarmonia com suas ciências irmãs? (HUXLEY, Thomas. Extraído de *Westminster Review*, 17 abr. 1860, pp. 541–70. In: DARWIN, 2018, p. 681).

Visões deístas de ordem, conciliáveis com a noção científica de leis da natureza²⁰⁰, vinham sendo novamente difundidas na Europa, sobretudo na Inglaterra e na França, desde, pelo menos, o século XVII, conforme nos recorda Abrantes (2016, p. 106-107):

Os deístas defendiam que Deus criou o mundo – e o argumento do desígnio permite inferir a existência de Deus a partir da ordem observada. Após a criação, a dinâmica desse mundo se dá sem qualquer interferência de Deus, seguindo unicamente as leis por Ele impressas. [...] Esse conhecimento dos fenômenos naturais só reafirma a existência de um Criador, ao qual os deístas atribuíam a ordem e a harmonia descobertas pela ciência” (ABRANTES, 2016, p. 106-107).

Podemos imaginar o quanto conflituoso pode ter sido para Darwin, que fez parte de seus estudos em teologia, no Christ’s College, em Cambridge (LAMBERT, 2010), conciliar seu aguçado cientificismo com possíveis reflexões religiosas, sobretudo num contexto histórico de conflito entre ciência e religião (GREENE, 1959). Tendo em mente esses elementos sociológicos e com base em nossa própria leitura da *Origem*, entendemos que, em Darwin, há uma vinculação da ideia de adaptação dos seres vivos à ordem estruturada e à dinâmica harmoniosa de funcionamento do meio circundante. Trata-se, devemos reconhecer, de uma ordem natural dinâmica – diferentemente da ordem estática da *Scala Naturae* e da *Great Chain of Being* –, e que se conforma às regularidades e leis gerais do mundo material. Não deixa de ser, no entanto, a nosso juízo, uma visão dependente da ideia de ordem harmônica. A despeito dos indícios acima mencionados (também destacados no Capítulo 2) das vinculações deístas de Darwin, adotaremos uma postura analítica mais cautelosa que as de Gray e Huxley. Nós nos eximiremos aqui de afirmar, categoricamente, que a visão de ordem de Darwin ultrapassava o mundo material sensível, para adentrar esferas metafísicas ou religiosas. A destreza com que Darwin escondeu algumas de suas posições metafísicas e religiosas, entre elas a posição em questão, não nos permite alcançar conclusão tão taxativa. Essa cautela, contudo, não nos impede de avançar a conclusão, *ex hypothesi*, de que a compreensão do conceito de adaptação em

²⁰⁰ Correntes de ideias que permitem a conciliação de noções de divindade com conceitos naturalistas estiveram presentes na Europa com pensadores anteriores ao século XVII, como Santo Agostinho (DURANT, 1996).

Darwin precisa, em alguma medida, do anteparo epistemológico oferecido pela noção de ordem harmônica, ainda que essa noção esteja eventualmente destituída de alguns de seus atributos característicos.

Gostaríamos de refletir, por fim, sobre um segundo aspecto relativo à vinculação que apontamos entre adaptação e a noção de ordem harmoniosa da natureza nas conceituações evolucionistas darwinianas. Trata-se do fato de que, em avaliações de valor adaptativo, conforme originalmente procedidas no arcabouço darwiniano, existe um componente variável, atribuível à subjetividade, no método pelo qual essas avaliações são procedidas. Devemos, neste momento, trazer uma precisão para o uso que aqui fazemos do termo "subjetividade". A subjetividade a que nos referimos não se restringe à subjetividade individual de cada um dos naturalistas que procede uma análise sobre a adaptação de uma característica de um ser vivo ao meio circundante. Trata-se, bem verdade, de uma noção mais ampla de subjetividade, que implica a submissão da avaliação do valor adaptativo a uma perspectiva humana do que seria ordem e harmonia na natureza. Assim sendo, com base na ideia darwiniana de adaptação, as justificativas da ocorrência do fenômeno de seleção, que são construídas *a posteriori* para explicar a vantagem comparativa de um ou outro atributo de uma espécie, são condicionadas ao entendimento humano do que é adequação de um instrumento à função para a qual ele teria sido concebido, do que é belo e atrativo para os parceiros sexuais, entre outros critérios que, por falta de melhor adjetivação, chamaremos de "humanizados", dado que são associados à perspectiva humana de mundo sensível. Seja por analogia, por comparação ou como simples recursos linguísticos metafóricos, a ideia de função, as noções de beleza, entre outros critérios que extrapolam a esfera científica, são necessários para o entendimento do conceito de adaptação de Darwin. Ademais, como resultado de uma avaliação sobre adaptação procedida sem uniformidade de critério metodológico, somos obrigados a constatar que o significado de "organismo bem adaptado" poderá ser qualitativamente diferente para cada organismo, para cada ambiente, para cada momento escolhido. Caímos aqui, mais uma vez (assim como para os conceitos de vantagem seletiva e sobrevivência de Darwin), nas dificuldades para alcançar consenso intersubjetivo entre os evolucionistas, sob uma lógica de convencionalidade, no julgamento da adaptação com o rigor exigido pelo cientificismo.

A Síntese Evolutiva Moderna, sobretudo graças às contribuições de Ronald Fisher, modificou o anteparo de compreensão do conceito de adaptação, deixando-o mais distante da noção que mencionamos acima, de adequação à ordem harmoniosa da natureza, para aproximá-lo de uma noção de conformidade entre diferentes formas materiais. Como ponto de partida

para esse raciocínio, Fisher (1930, p. 38-41) recorre à geometria para demonstrar que os requisitos estatísticos necessários para que duas diferentes formas tridimensionais estejam conformes uma com a outra, em apenas alguns aspectos, são numerosos. Essa relação de conformidade entre formas geométricas é matematizável em equações que relacionam suas dimensões, de modo que o "encaixe" perfeito entre as estruturas requer, ele conclui, que eventuais ajustes se procedam de forma mínima e progressiva, não de forma brusca:

[...] devemos concluir que uma mudança em qualquer dos lados tem, quando essa mudança é extremamente pequena, uma chance quase igual de produzir uma melhoria ou o oposto; enquanto, para mudanças maiores, a chance de melhoria diminui progressivamente, tornando-se zero, ou pelo menos negligenciável, para mudanças de caráter suficientemente pronunciado²⁰¹ (FISHER, 1930, p. 39).

A magnitude das mudanças é, logo, inversamente proporcional à probabilidade de melhorias na conformidade por ela aportadas. Ademais, maior o número de aspectos a serem conformados, maiores serão as exigências de ajustes de forma e, conseqüentemente, mais difícil, sob o ponto de vista estatístico, e prolongado, em termos de horizonte temporal, será o processo de conformação entre as estruturas (BAEZ, 2021)²⁰². Uma vez que estamos tratando de fenômenos biológicos, dificuldades adicionais podem ser ainda introduzidas nesse sistema se, além da conformidade geométrica de estruturas em três dimensões espaciais, passarmos a requerer a conformidade entre estruturas e funções. É no âmbito desse esquema lógico, desenvolvido durante a Síntese Evolutiva Moderna, que entendemos que a adaptação dos organismos ao ambiente passará a ter a acepção de conformidade particular entre estruturas, não de adequação a uma ordem harmônica geral ou imanente.

Nesse modelo de conformidade, o conceito de adaptação persiste sendo, é importante ressaltar, um conceito relacional, pois continua a se referir à relação entre os organismos e o ambiente. Entendemos que o que muda é a perspectiva de análise a partir da qual se busca apreender essa relação, que cambia de uma perspectiva qualitativa e genérica de adequação às necessidades do ambiente, em direção à uma adequação particular de formas e funções entre organismos e ambiente, nos moldes de um encaixe geométrico de superfícies cujas probabilidades de perfeita conformidade são matematicamente descritíveis (FISHER, 1930, p. 38-41). Importa ressaltar que as conclusões dessa lógica de conformidade aportada pela Síntese

²⁰¹ Traduzido de FISHER, 1930, p. 39: “[...] we should conclude that a change on either side has, when this change is extremely minute, an almost equal chance of effecting improvement or the reverse; while for greater changes the chance of improvement diminishes progressively, becoming zero, or at least negligible, for changes of a sufficiently pronounced character”.

²⁰² Para detalhes sobre a interpretação geométrica do Teorema Fundamental da Seleção Natural, ver o interessante artigo de John Baez (The fundamental theorem of natural selection. *Entropy*, v. 23, n. 11, p. 1436, 2021).

reforçam os postulados gradualistas darwinianos apresentados na *Origem das espécies*, na medida em que demonstram a necessidade de que as adaptações responsáveis para a ocorrência do fenômeno evolutivo sejam de pequena magnitude e possuam um caráter acumulativo. Em suma, a ideia de progresso na aptidão para a sobrevivência (*fitness to survive*), já presente em Darwin, persistirá associada à essa noção de adaptação como conformidade. Desse modo, a adaptação persistirá sendo, na Síntese, igualmente, a direção para a qual caminha a conservação das variações herdáveis resultantes da ação da seleção natural, o que se comprova, por exemplo, quando Fisher (1930, p. 140) afirma que “todo o corpo da evidência genética parece favorecer, e até mesmo requerer, a visão de que os organismos são em geral extremamente bem adaptados a suas situações [ambientais]²⁰³”. Os caminhos intelectuais percorridos pelas teorizações da Síntese Evolutiva Moderna reforçam, portanto, a vinculação entre os princípios de seleção natural e adaptação. As postulações da Síntese sobre a evolução são, portanto, simultaneamente, selecionistas e adaptacionistas, assim como foram aquelas de Darwin.

No próximo capítulo, continuaremos a refletir sobre a influência dos princípios da causalidade mecânica e da epistemologia verificacionista no desenvolvimento dos conceitos evolucionistas durante o período da Síntese Evolutiva Moderna que estudamos. Veremos que essa influência se procederá por outros caminhos, além da matematização, e colocaremos em relevo seus impactos tanto sobre as bases racionalistas quanto empiristas do evolucionismo.

²⁰³ Traduzido de FISHER, 1930, p. 140: “the whole body of genetic evidence seems to favour, and even to require, the view that organisms are in general extremely closely adapted to their situations”.

CAPÍTULO 4: SÍNTESE EVOLUTIVA MODERNA E AS BASES RACIONALISTAS, MECANICISTAS E EXPERIMENTAIS DA CAUSALIDADE EVOLUCIONISTA

No Capítulo 3, refletimos sobre a influência dos princípios da causalidade das ciências empíricas modernas e contemporâneas e de uma abordagem de matematização na reconfiguração dos conceitos evolucionistas ocorrida durante o período da Síntese Evolutiva Moderna que estudamos, graças, sobretudo, às contribuições teóricas de Ronald Fisher, Sewall Wright e John Haldane. Neste capítulo, refletiremos sobre a influência adicional desses princípios nas bases racionalistas e empiristas do evolucionismo durante esse período seminal da Síntese, ocorrida por diferentes meios: (i) pelo reforço das representações epistemológicas da filogenia que fundamentam os princípios da ancestralidade comum e da evolução, (ii) pela aplicação de modelos mecanicistas na fundamentação dos princípios da variação genética e da hereditariedade, (iii) por meio do recurso às noções de lei natural e de probabilidades na descrição das relações causais evolutivas (iv) e pelas possibilidades abertas pela experimentação para o aprimoramento da efetividade, da testabilidade, do valor preditivo e de outros valores cognitivos que fundamentam a validade dos conceitos evolucionistas.

4.1. Ancestralidade comum, evolução e representações epistemológicas

As categorizações (distinções ontológicas) e classificações (sistematizações epistemológicas) dos entes do mundo material em grupos – formados de acordo com o grau de semelhanças entre esses entes, semelhanças essas julgadas com base em critérios específicos – são uma atividade intelectual para o entendimento da realidade do mundo material a qual tem recorrido pensadores desde a Antiguidade até os tempos atuais, de Aristóteles a Hegel (FADAIE, 2008)²⁰⁴. Bem verdade, essa estratégia cognitiva não é exclusiva dos filósofos.

²⁰⁴ Categorizações e classificações são conceitos profundamente imbricados, que guardam, porém, algumas nuances que os diferenciam. Fadaie (2008, p.2) nos auxilia a compreender essas diferenças: “*Their differences are somehow like the difference between ontology and epistemology. Category is defined as ultimate class and highest genera of entities (Meiland, 1995 in Hjørland and Nicolaisen 2005, 1). And classification, in general as well as in library applications, is defined as putting the most similar things adjacent to each other. Krishnan Kumar (1979, p. 1) says that the ‘classification is a process of grouping. It involves putting together like entities and separating unlike entities’.*”

Embora com divergências nos critérios empregados, categorizar e classificar permite o acesso ao conhecimento também via outros caminhos, como as ciências e o senso comum:

É evidente que o processo de categorização/classificação de coisas e conceitos é uma necessidade de todos na vida cotidiana, assim como na profissão específica de cada um. Em um nível mais elevado e de forma geral, os maiores defensores da categorização/classificação são, respectivamente, os filósofos, enciclopedistas e bibliotecários. Após esses três, os biólogos estão entre os principais usuários, pois precisam classificar a variedade de seres vivos existentes. Assim, Aristóteles é considerado o primeiro fundador e o pai da classificação do conhecimento²⁰⁵. (FADAIE, 2008, p. 4)

Coloquemo-nos agora, a título ilustrativo, na situação de um bebê que abre seus olhos pela primeira vez após o nascimento e desperta seus sentidos para o mundo. Se bem nos imergirmos nessa situação, não nos será difícil entrever que, confrontados com uma infinita pluralidade de entes materiais, seja de objetos inanimados ou de seres vivos, "devemos aceitar que, desde o início de nossas vidas, quando nos deparamos com a realidade, devemos organizar nossa memória e, portanto, desenvolver uma espécie de classificação²⁰⁶" (FADAIE, 2008: p. 3). Categorizar e classificar os entes em grupos, para em seguida nomeá-los e estabelecer relações entre eles são, por conseguinte, tarefas intelectuais que compõem uma forma de racionalizar sobre a realidade que é necessária para a organização, a sistematização e a utilização efetiva do conhecimento sobre o mundo material, seja para fins de simples comunicação cotidiana, seja para a elaboração de imbrincadas teorias abstratas (MARCO; NAVARRO, 1993).

Por corolário do raciocínio acima apresentado, podemos concluir que a efetividade da racionalidade científica, enquanto instrumento qualificado de acesso ao conhecimento sobre o mundo empírico, depende, igualmente, da sistematização do conhecimento sob a forma de categorizações e classificações. A racionalidade científica depende, ainda, do estabelecimento de relações entre as categorias classificadas, afinal "as relações entre os fenômenos são extremamente importantes. Sem elas, torna-se praticamente impossível falar sobre qualquer coisa. Para conhecer as coisas, precisamos dividi-las, categorizá-las, classificá-las e organizá-

²⁰⁵ Traduzido de FADAIE, 2008, p. 4: "Can you It is evident that the process of categorization / classification of things and concepts are the every body's need in ordinary life, as well as in his / her special profession. In high level and in general, the most advocates of categorization / classification are philosophers, encyclopedists and librarians, respectively. After these three, the biologists are the most users, because they need to classify the varieties of bio-existed creatures. Hence, Aristotle is regarded as the first founder and the father of classification of knowledge".

²⁰⁶ Traduzido de FADAIE, 2008, p. 3: we must accept that from the very beginning of our lives when we encounter the reality, we should organize our memory and therefore develop a sort of classification.

las em diferentes ramos. Portanto, as relações entre esses ramos são fundamentais²⁰⁷" (FADAIE, 2008, p. 6). As categorizações e classificações são essenciais, também, portanto, para o estabelecimento de propriedades relacionais entre os entes materiais. Se avançarmos um pouco mais no detalhamento desse raciocínio, alcançaremos um aspecto que é de grande interesse para a reflexão desenvolvida neste trabalho, que atinge a noção de causalidade. Com efeito, podemos concluir que o estabelecimento de relações causais se tornaria inviável caso não procedêssemos previamente uma categorização sistemática e criteriosa dos entes causa e efeito.

A busca, ao longo da história, por explicações dos fenômenos do mundo vivo não se desgarrou, por óbvio, desse contexto. Como vimos anteriormente (Capítulo 2), desde tempos remotos, os naturalistas têm recorrido a categorizações e classificações variadas para organizar e representar a diversidade dos seres vivos (e até dos entes inorgânicos), do que são exemplos, a *Scala naturae* de Aristóteles e a *Great Chain of Being* dos neoplatônicos, ademais do exitoso sistema de classificação taxonômica de Carlos Lineu, o *Systema Naturae*, (AGUTTER; WHEATLEY, 2008). Como também vimos, Darwin aprimorou a classificação taxonômica das espécies com auxílio de observações minuciosas dos seres vivos em ambientes de pesquisa e em condições de vida selvagem, realizadas sobretudo durante sua viagem a bordo do *HMS Beagle*, atividade essa que foi combinada com uma análise comparativa anatômica e paleontológica. Dito isso, iremos agora, nesta seção, um pouco mais adiante desse ponto onde paramos no Capítulo 2, para aprofundar nossa reflexão sobre a relação existente entre o princípio de ancestralidade comum e as estratégias de categorização e classificação da diversidade dos seres vivos.

4.1.a Da classificação taxonômica à genealogia evolutiva

As classificações taxonômicas construídas pelos naturalistas previamente à Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, com base no *Systema Naturae* de Lineu, posicionavam as espécies catalogadas lado a lado, de acordo com o grau de semelhanças e diferenças em características fenotípicas adotadas como critérios diferenciadores (AGUTTER; WHEATLEY, 2008). Em conformidade com os procedimentos metodológicos necessários para

²⁰⁷ Traduzido de FADAIE, 2008, p. 6: "Relationships among the phenomena are very important. Without which it is rather impossible to talk about anything. As for knowing things we have to divide, categorize, and classify and put them into branches. Therefore relationships among these branches are vital".

a construção de sistemas de categorização e classificação desse tipo, cabia aos naturalistas que procediam a classificação taxonômica a escolha das características fenotípicas que assumiriam o status cognitivo de critério diferenciador das espécies, gêneros, famílias e demais categorias (LOVE, 2009). Quanto mais relevante e preciso fosse o critério diferenciador escolhido, mais consistente se tornaria a classificação taxonômica. Configuram-se, assim, as balizas procedimentais do "pensamento tipológico" em biologia, que "envolve a representação e a categorização dos fenômenos naturais, incluindo tanto o agrupamento quanto a distinção desses fenômenos de acordo com diferentes características, além de ignorar certos tipos específicos de variação" (LOVE, 2009, p. 3).

Para Lineu e muitos dos naturalistas que antecederam Darwin, as formas vivas que preenchiam essa rede taxonômica haviam sido criadas por ação divina direta, de forma súbita, e eram imutáveis ao longo do tempo (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 132). Se, em nossa análise, deixarmos à parte essa dimensão metafísica que envolve ontologia das espécies, para nos concentrarmos exclusivamente na dimensão epistemológica que envolve a sistematização de suas diferenças, notaremos que as classificações taxonômicas, do tipo do *Systema Naturae*, são ferramentas úteis para o alcance do objetivo empírico de representação da diversidade dos seres vivos. É prova dessa utilidade o fato de Darwin e dos evolucionistas que lhe sucederam não as terem abandonado. Com base nos elementos biográficos de Darwin que elencamos no Capítulo 2, sobretudo sua larga experiência como naturalista de campo e a meticulosidade desenvolvida durante seu treinamento em geologia, não é difícil encontrar justificativa para suas frutuosas contribuições para o rigor dos critérios de classificação taxonômica e para a catalogação de novas espécies de pássaros, insetos, entre outras (DESMOND; MOORE, 1991). No entanto, não são essas contribuições factuais que gostaríamos de analisar. Nos interessa, sobretudo, refletir sobre o fato de que, com o princípio da ancestralidade comum, Darwin introduz um elemento de transversalidade temporal na leitura da classificação taxonômica, elemento esse que é, indubitavelmente, disruptivo em relação ao pensamento naturalista prévio:

Naturalistas tentaram, ao longo dos tempos, arranjar as espécies, os gêneros e as famílias em classes, perfazendo o que se chama de sistema natural. É inquestionável que se trata de um sistema engenhoso e útil. Muitos naturalistas, porém, pensam que o sistema natural significaria algo mais: creem que ele revelaria o plano do Criador. Mas, a não ser que se explique o que essa expressão quer dizer, se uma ordem no tempo, no espaço ou outra coisa qualquer, não me parece que ela acrescente algo a nosso conhecimento. Expressões como a de Lineu, muito famosa, com que tantas vezes deparamos em formulação mais ou menos explícita, de que os caracteres não fazem o gênero, mas é este que dá os caracteres, parecem implicar que algo mais além de semelhança estaria embutido nos caracteres. Creio, de fato, que é o caso: a proximidade de descendência, causa única de similaridade entre os seres orgânicos,

recoberta por sucessivos graus de modificação, elo este que é revelado, ao menos em parte, por nossa classificação (DARWIN, 2018, p. 545-546).

A nosso juízo, essa nova forma de leitura das classificações taxonômicas modifica inteiramente, sob o ponto de vista epistemológico²⁰⁸, o entendimento sobre a realidade que esse tipo de classificação visa a representar: a classificação taxonômica do presente passa a ter uma relação necessária com a classificação taxonômica do passado. Dito de outra forma, fazendo uso do olhar sobre a ancestralidade que Darwin incitou, além da necessidade de observar o parentesco "vertical" (hierárquico) entre as espécies nas classificações taxonômicas do presente, passa a ser necessário encontrar o parentesco "horizontal" (ao longo do tempo) entre as espécies, por meio da comparação entre as classificações taxonômicas do presente (fotografia atual dos graus de parentesco) e classificações taxonômicas pregressas (fotografias antigas dos graus de parentesco). O casamento dessas perspectivas resulta na “árvore da vida” de Darwin, uma refinada e rigorosa representação, capaz de fundamentar sua hipótese de parentesco presumido entre as espécies:

As afinidades entre os seres de uma mesma classe foram por vezes representadas por uma grande árvore. Parece-me, no fundo, um símile verdadeiro. Os jovens ramos verdejantes poderiam representar as espécies existentes; os mais antigos, a longa sucessão de espécies extintas. Em cada período de crescimento, cada um dos ramos se empenha em brotar a partir do tronco, por todos os lados, sobrepondo-se aos ramos e galhos vizinhos e os matando, da mesma maneira como as espécies e os grupos de espécies tentam dominar outras espécies na grande batalha pela vida [...] Assim como ramos geram, por crescimento, novos ramos, e estes, se forem vigorosos, ramificam e se impõem, por todos os lados, a ramos mais fracos, do mesmo modo ocorre, graças à geração, na Árvore da Vida, que com seus galhos mortos e partidos preenche as camadas da terra e com suas verdejantes e belas ramificações recobre a sua superfície (DARWIN, 2018, p. 200-201).

Isso posto, podemos afirmar que, com o princípio da ancestralidade comum, as classificações taxonômicas passaram a representar não somente prateleiras descritivas da organização das espécies no gigantesco arcabouço do mundo vivo, num momento histórico pontual, mas também a fundamentar a linhagem de parentesco intertemporal dessas espécies, sob uma lógica de genealogia evolutiva²⁰⁹.

²⁰⁸ Com o princípio da ancestralidade comum, Darwin tornou desnecessária a utilização da ideia de Deus para explicar a origem das espécies (CHARBONNAT, 2009). Dessa forma, a classificação taxonômica, um instrumento que, durante muito tempo, estivera a serviço da exaltação da perfeição do “design divino”, foi convertida para a função de organização das evidências empíricas sobre a diversidade das espécies. Isso mostra que o princípio da ancestralidade comum, além de promover uma mudança do ponto de vista epistemológico, promoveu também uma mudança de perspectiva metafísica. No entanto, reiteramos que, nas discussões sobre categorização e classificação da diversidade das espécies, não nos aprofundaremos nas discussões metafísicas, e continuaremos a nos ater ao escopo original deste trabalho, de enfoque sobre o desenvolvimento epistemológico dos conceitos.

²⁰⁹ Vemos, na aplicação da lógica de genealogia evolutiva de Darwin, uma relação, a ser melhor estudada futuramente, com a ideia de origem “genética” de Thomas Hobbes, presente no livro “Leviatã”, conforme

Com esse desenvolvimento epistemológico, o evolucionismo darwiniano abria a possibilidade, ao menos teórica, de, fazendo uso de categorizações e classificações de entes do mundo material (espécies de organismos vivos), se reconstruir a história da vida na Terra desde os tempos ancestrais até o presente. Poderíamos, de imediato, supor esse seria, então, o caminho intelectual óbvio a ser seguido por Darwin, com vistas a reforçar a validade do princípio da ancestralidade comum. Isso, no entanto, não foi o que aconteceu. Darwin não se engajou, pessoalmente, nessa empreitada de reconstrução da história da vida (BOWLER, 2009, p.190). Vejamos o porquê de sua hesitação.

À altura de meados do século XIX, a classificação taxonômica das espécies vivas já permitia uma fotografia de qualidade satisfatória da diversidade contemporânea dos seres vivos. As fotografias do passado, montadas, sobretudo, a partir dos registros fósseis aportados pela paleontologia, não eram, no entanto, igualmente abundantes e precisas. Os registros fósseis, quando tomados em conjunto, não são, com efeito, evidências empíricas completas (MAYR, 2002). Os fósseis encontrados pelos paleontólogos representam apenas uma pequena fração dos seres que já viveram sobre a Terra. Aventa-se que muitos seres ancestrais seriam microscópicos ou pequenos ao ponto de não disporem de estruturas rígidas fossilizáveis. Animais, plantas e demais seres multicelulares, por sua vez, quando encontrados fossilizados, o foram, em sua maioria, apenas quando foram enterrados por sedimentos, em um processo de subsidência de uma determinada área geográfica, ou quando preservados em circunstâncias excepcionais:

É evidentemente inútil buscar tal evidência, exceto em localidades onde as condições físicas tenham sido tais que permitam o depósito de uma série ininterrupta, ou raramente interrompida, de estratos ao longo de um longo período de tempo; onde o grupo de animais a ser investigado tenha existido em abundância suficiente para fornecer o suprimento necessário de restos; e onde, finalmente, os materiais que compõem os estratos sejam tais que garantam a preservação desses restos em um estado razoavelmente perfeito e não perturbado²¹⁰ (HUXLEY, 1888, Lecture III).

mencionamos no Capítulo 1. Neste trabalho, por limitações de espaço, não nos alongaremos nessa reflexão. No entanto, convém salientar que, qualquer que seja a inspiração de Darwin, a lógica de genealogia evolutiva por ele aplicada exercerá relevante influência sobre a produção de estudos historiográficos posteriores e inspirará grandes pensadores dos diversos domínios do saber, como Karl Marx, Friedrich Nietzsche e Sigmund Freud. Sobre isso, ver, por exemplo, FERRY, 2008, p 192-196. Bem verdade, a linha metodológica de reflexão por nós adotada neste trabalho, de análise lógico-conceitual, de base historiográfica, do desenvolvimento epistemológico dos principais conceitos evolucionistas, é, em larga medida, também tributária dessa lógica de genealogia evolutiva.

²¹⁰ Traduzido de HUXLEY, 1888, Lecture III: “*It is obviously useless to seek for such evidence except in localities in which the physical conditions have been such as to permit of the deposit of an unbroken, or but rarely interrupted, series of strata through a long period of time; in which the group of animals to be investigated has existed in such abundance as to furnish the requisite supply of remains; and in which, finally, the materials composing the strata are such as to ensure the preservation of these remains in a tolerably perfect and undisturbed state*”.

Darwin tinha precisa consciência dessa incompletude dos registros fósseis, tendo feito questão de registrar essas limitações em múltiplas passagens da *Origem das espécies*, a exemplo das que seguem:

Mas, se, de acordo com essa teoria, inumeráveis formas transicionais terão existido, por que então não as encontramos embebidas na crosta da Terra em número incontável? [...] a resposta a essa questão se encontra, ao que me parece, no fato de esse registro ser muito mais imperfeito do que se costuma supor, o que se deve, principalmente, à circunstância de a maioria dos seres orgânicos não habitar as profundezas do oceano e a maioria de seus restos ter sido embebida e preservada para idades futuras apenas em massas de sedimento suficientemente espessas e extensas para suportar uma enorme degradação sucessiva; lembrando que só pode haver acúmulo de massas fósseis onde houve depósito suficiente de sedimento no leito raso dos mares em subsidência. São contingências bastante raras, que ocorrem em longuíssimos intervalos. Enquanto o leito do mar permanecer estacionário ou estiver em elevação ou não forem depositados sedimentos em quantidade suficiente, continuará havendo lacunas na história geológica. A crosta da Terra é um vasto museu; mas suas coleções naturais foram reunidas em diferentes momentos, separados por amplos intervalos (DARWIN, 2018, p. 252-253).

Assim, cada formação [geológica] assinala não tanto um novo e completo ato de criação quanto uma cena ocasional, tomada quase ao acaso, de um drama encenado vagorosamente (DARWIN, 2018, p. 422).

Diante dessa limitação das evidências empíricas fósseis, a conclusão lógica a que se pode chegar, sem confronto com a teoria evolucionista darwiniana, é que a esmagadora maioria dos ancestrais das formas atuais de vida, portanto, evoluiu para novas espécies ou foi extinta sem deixar, com isso, quaisquer traços fósseis detectáveis (BOWLER, 2009). Raciocinando em direção oposta, podemos presumir que as muitas lacunas nos registros fósseis da época favoreciam os argumentos contrários ao evolucionismo, que defendiam o surgimento abrupto e o fixismo das espécies (BOWLER, 2009). Além disso, “Darwin estava ansioso para distanciar sua teoria de especulações anteriores, como as de Lamarck, que assumiam uma tendência inevitável em direção ao progresso” (BOWLER, 2009, p.182). Tendo esse contexto em mente, não é difícil imaginarmos, portanto, que Darwin chegaria à conclusão de que ele traria fragilidade ao princípio da ancestralidade comum e à sua teoria sobre a diversificação das espécies como um todo, ao invés de reforçá-los, caso ele tentasse reconstruir o filme da história das espécies com base nas silhuetas vagas das fotografias dos achados fósseis. Darwin não ousou, por isso, ele próprio, fazer esse tipo de reconstrução. Convém agora nos indagarmos se os evolucionistas que lhe sucederam assumiriam esse risco.

4.1.b Filogenia evolutiva: a arborização da causalidade evolutiva

A construção de sistemas de classificação em geral, assim como de classificações científicas em particular, a exemplo daquelas que representam a diversidade dos seres vivos, é dependente da forma de olhar para o mundo dos indivíduos que procedem a classificação e da extensão das informações e evidências empíricas disponíveis (FADAIE, 2008, p. 3). Analisemos essas duas dimensões – concepções de mundo e disponibilidade de evidências – no contexto das classificações da diversidade biológica no período que sucedeu a publicação da *Origem das Espécies*.

No que concerne à concepção de mundo, caso assumamos como premissa que “os esquemas avançados de classificação foram desenvolvidos sob a influência da abordagem filosófica ou científica da época em que seus criadores os conceberam²¹¹” (FADAIE, 2008, p.3), concluiremos que os naturalistas que procederam categorizações e classificações da diversidade biológica após Darwin aquiesciam, em sua larga maioria, com o princípio da ancestralidade comum e compartilhavam com Darwin sua leitura intertemporal da árvore da vida (BOWLER, 2009).

No que concernem às informações e evidências empíricas disponíveis, ainda havia espaço para que os achados paleontológicos que se acumulavam ou, até mesmo, as evidências oriundas de novas técnicas de mapeamento de linhagens genealógicas viessem a refinar as classificações existentes e, em consequência, aumentar o poder explicativo do princípio de ancestralidade comum. Bem verdade, apesar de Darwin não ter se investido nessa tarefa, a própria teoria evolucionista franqueava essa possibilidade, uma vez que “previa que novas descobertas preencheriam eventualmente as lacunas, e, de fato, as descobertas das décadas seguintes [após 1859] encorajaram os paleontologistas a ter esperança de que eles pudessem reconstruir a totalidade da história da vida” (BOWLER, 2009, p. 182). Nesse sentido, respondendo à nossa indagação do final da seção anterior, constatamos que a tarefa de tentar montar o imbrincado quebra-cabeças da árvore da vida viria, sim, a ser assumida pelos evolucionistas que sucederam a Darwin. Alfred Wallace, aquele que havia alcançado, de forma independente, conclusões semelhantes às de Darwin sobre a dinâmica evolutiva, inclusive sobre a ideia de seleção natural, foi o primeiro a propor um projeto consistente de reconstrução da história da vida na Terra (BOWLER, 2009). Esse projeto foi inicialmente implementado com uso de linhagens

²¹¹ Traduzido de FADAIE, 2008, p. 3: “the advanced classification schemes have been made under the influence of philosophical or scientific approach of the time when their founders have made them”.

genealógicas esparsas, traçadas com base na comparação morfológica e nos achados paleontológicos então disponíveis:

O projeto de biogeografia de Wallace incluía o uso de fósseis para rastrear o ponto de origem de grupos recém-evoluídos, mas a maioria das aplicações do evolucionismo para reconstruir a história da vida concentrou-se na morfologia e na paleontologia. Descobertas de fósseis às vezes revelavam os elos perdidos em genealogias evolucionárias hipotéticas. Embora o próprio Darwin tenha sido relutante em se engajar em tais especulações, seus seguidores mais entusiasmados não podiam esperar para começar uma reconstrução completa do desenvolvimento da vida na Terra, mesmo onde não havia fósseis disponíveis. Os morfologistas estavam acostumados a construir relações entre grupos, e agora essas relações podiam ser interpretadas não como componentes idealizados em um plano divino, mas como conexões reais baseadas em uma ancestralidade comum. Tem sido argumentado que o evolucionismo não fez muita diferença para esse programa de pesquisa, mas na verdade introduziu novas restrições, pois todas os estágios intermediários teriam de ser animais reais capazes de sobreviver em um ambiente específico²¹² (BOWLER, 2009, p. 190).

Iniciativas nessa direção, de criar uma cartografia da evolução, continuaram a se proliferar e a ganhar impulso ao longo da segunda metade do século XIX, passando a contar com evidências oriundas não somente da anatomia comparada e da paleontologia, mas também de outras áreas, como a embriologia. Esses estudos permitiram a consolidação de toda uma linha de pesquisas específicas em torno da reconstituição da história da vida das espécies na Terra, que viria ser a nomeada pelo morfologista alemão Ernst Haeckel²¹³ com o termo “filogenia” (BOWLER, 2009, p. 191). A atividade que há muito ocupava a maior parte do tempo de trabalho de zoologistas e botânicos, a de classificação de suas coleções de animais e plantas, firmava-se como um ramo específico da biologia (MAYR, 2002). Se o estudo das características comparadas dos seres então vivos permitia aos biólogos, botânicos, biogeógrafos e demais cientistas do século XIX construir uma fotografia transversal do grau de parentesco das formas então existentes e montar uma classificação taxonômica razoavelmente precisa; se

²¹² Traduzido de BOWLER, 2009, p.190: “Wallace’s biogeography project included the use of fossils to trace the point of origin for newly evolved groups, but most applications of evolutionism to reconstruct the history of life focused on morphology and paleontology. Fossil discoveries sometimes revealed the missing links in hypothetical evolutionary genealogies. Although Darwin himself was reluctant to engage in such speculations, his more enthusiastic followers could not wait to begin a complete reconstruction of the development of life on earth, even where no fossils were available. Morphologists were used to working out relationships between groups, and now those relationships could be interpreted not as idealized components in a divine plan but as real connections based on common ancestry. It has been argued that evolutionism did not make much difference to this program of research, but in fact it introduced new constraints because all the intermediate stages had to be real animals capable of surviving in a particular environment”.

²¹³ Não ignoramos as controvérsias existentes entre os estudos de Haeckel sobre o desenvolvimento embriológico e o evolucionismo, algumas das quais, a bem dizer, ainda permanecem atualmente como alvo de atenção da abordagem Evo-Devo da Síntese Estendida (ULLER; LALAND, 2019). Ernst Haeckel chegou a defender, em uma generalização excessiva, que os estágios de desenvolvimento embrionário de uma espécie recuperariam, precisamente, o percurso da evolução dessa espécie (DOZHANSKY, 1973, p.128). Essa chamada “lei biogenética” não é aceita atualmente. Entendemos, no entanto, que essas divergências não invalidam a totalidade das contribuições de Haeckel e demais embriologistas para a consolidação da filogenia.

o estudo das características comparadas dos fósseis permitia ao paleontólogos do século XIX construir fotografias transversais, ainda que menos precisas, do grau de parentesco das formas que viveram no passado e montar linhas genealógicas de algumas espécies; ora, para os evolucionistas, a filogenia despontava como a representação da linha longitudinal hipotética de ancestralidade que nos conduziria a reunir evidências de diversas áreas e associar, para as espécies em geral, as formas conhecidas do passado com as formas conhecidas no presente. Aplicando os conceitos de causalidade a esse encadeamento lógico, podemos reescrever essa conclusão afirmando que, em conformidade com o princípio da ancestralidade comum e as representações da diversidade das espécies pela filogenia, os evolucionistas inferiram que os entes que viveram no passado produziram, por meio de uma relação epistemologicamente necessária, os entes que vivem no presente. Sumarizaremos esse desenvolvimento conceitual com a ideia de “arborização da causalidade evolutiva”.

Com Thomas Huxley e seus contemporâneos, essa associação causal, conforme descrita pelas representações da filogenia, viria a ser apresentada, progressivamente, como uma evidência demonstrativa da evolução. Em uma palestra que viria a ser consagrada pela historiografia como uma das mais contundentes defesas da teoria da evolução da segunda metade do século XIX, Huxley (1888, Lecture III²¹⁴) afirma que a conclusão que podemos alcançar com a genealogia e a filogenia evolutivas:

[...] é o que quero dizer com evidência demonstrativa da evolução. Uma hipótese indutiva é considerada demonstrada quando os fatos se apresentam em total conformidade com ela [...] E a doutrina da evolução, no momento atual, repousa sobre uma base tão segura quanto a teoria copernicana dos movimentos dos corpos celestes na época de sua promulgação. Sua base lógica é exatamente da mesma natureza – a coincidência dos fatos observados com os requisitos teóricos²¹⁵ (HUXLEY, 1888, Lecture III).

²¹⁴ Para ilustrar seu argumento, Huxley remonta, nessa palestra clássica de defesa da teoria de Darwin (HUXLEY, 1888, Lecture III), a linha da filogenia do cavalo e animais correlatos (correspondente, na categorização taxonômica, à família Equidae). Posteriormente, as evidências demonstraram que essa linha da filogenia que serviu de exemplo para Huxley estava, naquele momento histórico, incorretamente traçada (MACFADDEN, 2005). Isso, no entanto, a nosso juízo, não invalida o argumento de Huxley sobre a importância da filogenia das espécies para a explicação do fenômeno evolutivo.

²¹⁵ Traduzido de HUXLEY, 1888, Lecture III: “*That is what I mean by demonstrative evidence of evolution. An inductive hypothesis is said to be demonstrated when the facts are shown to be in entire accordance with it [...] And the doctrine of evolution, at the present time, rests upon exactly as secure a foundation as the Copernican theory of the motions of the heavenly bodies did at the time of its promulgation. Its logical basis is precisely of the same character—the coincidence of the observed facts with theoretical requirements*”.

4.1.c Velhos métodos, novas evidências

As categorizações e classificações das espécies com base nos achados da paleontologia são, sob o ponto de vista metodológico, limitadas ao fato de que a idade dos fósseis é estimada a partir da camada geológica onde ele é encontrado:

Um biólogo não tem meios de chegar a qualquer conclusão sobre a quantidade de tempo que pode ser necessária para uma certa quantidade de mudança orgânica. Ele obtém sua noção de tempo a partir do geólogo. O geólogo, considerando a taxa na qual os depósitos são formados e a taxa na qual a denudação vai na direção da superfície da Terra, chega a conclusões mais ou menos justificáveis sobre o tempo necessário para o acúmulo de uma certa espessura de rochas [...] Quanto à quantidade de tempo que a evolução pode ter ocupado, nós estamos nas mãos do físico e do astrônomo, cuja função é lidar com essas questões²¹⁶ (HUXLEY, 1888, Lecture III).

Nas primeiras décadas do século XX, novas tecnologias de datação das eras geológicas, como, por exemplo, os métodos baseados no decaimento radioativo de isótopos²¹⁷, viriam a modificar a forma de obter estimativas dos períodos de evolução biológica. Esses métodos tornaram-se disponíveis graças aos desenvolvimentos teóricos da física de partículas e da mecânica quântica e de suas conseqüentes aplicações práticas, a exemplo do método de marcação por urânio-chumbo (U-Pb), que permite aferição indireta da idade dos fósseis via marcação das camadas geológicas antigas a eles correspondentes. Para achados paleontológicos mais recentes, até cerca de 50 mil anos, métodos específicos como de datação do carbono-14, quando aplicado diretamente na amostra fóssil, permitiriam ainda maior precisão nas estimativas de sua origem cronológica (SCHEEL-YBERT, 1999). O desenvolvimento desses métodos permitiu aos pesquisadores das ciências biológicas recorrerem, para fazerem suas estimativas, a uma grandeza objetivamente mensurável, a data de depósito em solo ou sedimento marinho de um determinado achado fóssil:

Os carbonatos se formam em uma miríade de ambientes, desde solos na superfície da Terra até uma profunda camada soterrada associada com fluidos hidrotermais. Em situações favoráveis, esses carbonatos também podem ser datados diretamente para

²¹⁶ Traduzido de HUXLEY, 1888, Lecture III: “A biologist has no means of arriving at any conclusion as to the amount of time which may be needed for a certain quantity of organic change. He takes his time from the geologist. The geologist, considering the rate at which deposits are formed and the rate at which denudation goes on upon the surface of the earth, arrives at more or less justifiable conclusions as to the time which is required for the deposit of a certain thickness of rocks [...] As to the amount of time which evolution may have occupied, we are in the hands of the physicist and the astronomer, whose business it is to deal with those questions”.

²¹⁷ ABRANTES (2014, p. 16) assim detalha a *rationale* subjacente aos métodos baseados no decaimento radioativo de isótopos: “Isótopos de determinados elementos decaem, ou seja, transformam-se em outros isótopos ou num elemento químico diferente, como consequência da sua radioatividade (basicamente, da emissão de nêutrons e raios gama pelos núcleos desses átomos). A taxa de decaimento desses isótopos é constante. A datação faz-se com base na medição da pequena quantidade de material radioativo contido nos objetos em estudo. Com o conhecimento da vida média do isótopo, e supondo-se que o decaimento radioativo deu-se uniformemente, é possível calcular o tempo transcorrido desde que o processo se iniciou”.

limitar o tempo das condições responsáveis por sua precipitação. Carbonatos tão jovens quanto a era do Pleistoceno foram datados com U-Pb e, devido às longas meias-vidas de ^{238}U e ^{235}U , não há motivo para acreditar que haja um limite para datar partes mais antigas do registro rochoso [...] Carbonatos marinhos são comuns no espaço e no tempo. Fósseis de aragonita marinha excepcionalmente bem preservados deram idades de U-Pb que limitam eventos tectônicos, como o levantamento no Caribe e o fechamento do Istmo do Panamá [...] Ou seja, através de amostragem cuidadosa nesse contexto, não apenas se pode determinar a idade dos depósitos originais, mas também limitar o tempo e talvez a duração dos eventos de alteração posteriores²¹⁸ (RASBURY; COLE, 2009, p.1).

Há divergências na datação dos registros fósseis quando se utiliza diferentes métodos de decaimento radioativo, o que requer técnicas de calibragem rigorosas ou redundância na análise com a aplicação de diferentes técnicas (SAUQUET; GANDOLFO, 2012). No entanto, em seu conjunto, mesmo diante dessa limitação, podemos entender que a aplicação de métodos de datação geológica e paleontológica viria a permitir, ao longo do século XX, um refinamento progressivo na cronologia dos fósseis encontrados, e em consequência, inferências mais precisas do grau de parentesco entre os seres vivos puderam ser alcançadas. Os longevos estudos paleontológicos, portanto, renovavam-se e tornavam-se capazes de produzir novas evidências para embasar os conceitos evolucionistas.

4.1.d Com a Síntese, novos métodos, novas evidências

Embora os estudos de filogenia do Século XIX corroborassem, sob o ponto de vista lógico, o princípio da ancestralidade comum, a aplicação extremada de alguns de seus modelos, sobretudo aqueles relacionados ao desenvolvimento embrionário, viria a se chocar com outros conceitos estruturantes do evolucionismo darwiniano. A modelo de filogenia por recapitulação de Haeckel, por exemplo, por meio do qual o desenvolvimento embrionário de um organismo individual recapitularia a linhagem genealógica da espécie, prevê uma história de ascensão da vida linear e progressista, na qual a espécie humana ocuparia o cume (BOWLER, 2009, p. 191):

[...] suas reconstruções hipotéticas de ancestralidades foram baseadas em avaliações rigorosas de evidências anatômicas e embriológicas, que influenciariam toda uma

²¹⁸ Traduzido de RASBURY; COLE, 2009, p.1: “Carbonates form in a myriad of environments from soils at the surface of the Earth to deep burial associated with hydrothermal fluids. In favorable situations these carbonates may also be directly dated to constrain the timing of conditions responsible for their precipitation. Carbonates as young as Pleistocene age have been dated with U-Pb, and because of the long half-lives of ^{238}U and ^{235}U , there is no reason to believe that there is a limit to dating older parts of the rock record [...] Marine carbonates are common in space and time. Exceptionally well preserved marine aragonite fossils have given U-Pb ages that constrain tectonic events such as uplift in the Caribbean and closure of the Isthmus of Panama [...] That is, by careful sampling in this context, one not only can determine the age of the original deposits but can further constrain the timing and perhaps duration of the later alteration events”.

geração de biólogos. Haeckel criou uma onda de entusiasmo pela teoria de que o desenvolvimento embrionário do organismo individual (ontogenia) recapitula a ancestralidade evolutiva de sua espécie (filogenia). As condições sob as quais a recapitulação poderia ocorrer foram especificadas por Fritz Müller (tradução de 1869), que alertou que nem todas as formas de variação permitiriam que os estágios ancestrais fossem preservados. Haeckel simplesmente assumiu que, na maioria dos casos, a variação ocorreria pela adição de novos estágios ao desenvolvimento individual²¹⁹ (BOWLER, 2009, p. 191).

Embora haja, na literatura especializada²²⁰, algumas referências a um eventual comprometimento de Darwin, em algum nível, com o projeto recapitulacionista de Haeckel, o modelo de filogenia deste embriologista contrapõe-se, em importantes aspectos, à noção darwiniana de indeterminação do resultado do processo evolutivo (BOWLER, 2009). Dado o caráter linear e progressista com que Haeckel via o processo evolutivo, poderíamos inferir que, em sua árvore da vida, a espécie humana ocuparia o topo do tronco ancestral comum de onde divergiriam os múltiplos galhos evolutivos intermediários – como uma estrela no topo de um pinheiro de Natal (com o perdão pela analogia simplória). De forma diferente, na árvore da vida de Darwin, como vimos anteriormente, a espécie humana corresponde a mais um entre os incontáveis galhos em que são alocadas as linhagens de espécies. Confrontados com divergências conceituais dessa ordem, oriundas da embriologia, ademais das limitações técnicas relacionadas aos estudos paleontológicos e de anatomia comparada, caberia aos cientistas e pensadores da Síntese Evolutiva Moderna buscar novas alternativas metodológicas capazes de ampliar o leque de evidências empíricas disponíveis e de aprimorar as categorizações e classificações da diversidade das espécies.

O ponto de partida para as contribuições da Síntese Evolutiva Moderna situa-se, diante do que apresentamos acima, em um contexto teórico em que a validade do princípio da ancestralidade comum estava largamente fundada na abordagem da filogenia, abordagem essa construída sob uma lógica de condensação das diversas linhagens genealógicas das espécies em uma única representação imagética. Desde a publicação da *Origem das espécies*, os métodos mais comumente usados pelos naturalistas para proceder essas classificações foram a catalogação e comparação de características fenotípicas e anatômicas de espécies vivas e de

²¹⁹ Traduzido de BOWLER, 2009, p.191: "[...] his hypothetical reconstructions of ancestries were based on serious evaluations of anatomical and embryological evidence that would influence a whole generation of biologists. Haeckel created the wave of enthusiasm for the theory that the embryological development of the individual organism (ontogeny) recapitulates the evolutionary ancestry of its species (phylogeny). The conditions under which recapitulation could take place were specified by Fritz Müller (translation 1869), who warned that not all forms of variation would allow ancestral stages to be preserved. Haeckel simply assumed that in most cases variation would proceed by adding on new stages to individual development".

²²⁰ Ver, por exemplo, RICHARDS, Robert J., *The Romantic Conception of Life: Science and Philosophy in the Age of Goethe*. Chicago: University of Chicago Press, 2002 e GLIBOFF, Sander. Gregor Mendel and the Laws of Evolution. *History of Science* 37, p. 217-235, 1999.

achados paleontológicos (LOVE, 2009). Há algo de comum entre os estudos da zoologia, da botânica, da anatomia comparada, da paleontologia, e, até mesmo, da embriologia quando são procedidos para fins de categorização e classificação da diversidade das espécies. Para fins de filogenia, esses métodos são aplicados com base na mesma estratégia lógica: julgamento do parentesco genealógico dos organismos estudados (atuais ou fósseis) com base em critérios de homologia de suas características observáveis (fenotípicas). Em 1555, por exemplo, mesmo antes do sistema taxonômico de Lineu, o naturalista francês Pierre Belon já notava a homologia de ossos entre animais tão diferentes quanto o homem e as aves (DOZHANSKY, 1973, p.128). Em Darwin, na *Origem das espécies*, a noção de homologia pode ser associada ao conceito de “afinidade sistêmica, termo que pretende exprimir toda espécie de similaridade e dissimilaridade entre seres orgânicos” (DARWIN, 2018, p. 362). Sob a lógica de homologia, os indivíduos de uma dada espécie são similares àqueles de outras espécies do mesmo gênero, família e níveis hierárquicos superiores da mesma linhagem genealógica naquilo que eles herdaram do ancestral comum, mas deles divergem nas características fenotípicas que adquiriram com a evolução após o momento em que os troncos genealógicos se bifurcaram. Esse tipo de classificação, com base em análise de identidade e diferenças, permite inferir que quanto mais características fenotípicas homólogas as espécies comparadas possuírem entre si, maior será o grau de parentesco entre elas – seja em linha ascendente, descendente ou colateral (DOBZHANSKY, 1937). A comparação das espécies com base nesse critério de homologia das características observáveis configura-se, portanto, na estratégia metodológica utilizada pelos evolucionistas para a operacionalização do princípio lógico de genealogia evolutiva, permitindo a construção da filogenia dos seres vivos e a arborização da causalidade evolutiva. A árvore da vida seria, portanto, a representação gráfica do resultado da aplicação da comparação de homologias às diversas linhagens de seres vivos, sendo tão mais completa quanto maior a disponibilidade de conhecimento sobre as linhagens existentes.

No Capítulo 3, refletimos sobre como a variação populacional, de base fenotípica em Darwin e nos naturalistas do século XIX, torna-se, graças a Mendel e aos pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, em uma variação também de base genética. Vimos, ainda, que a variabilidade prevista para a constituição genética dos indivíduos é ainda mais vasta que a variabilidade das manifestações fenotípicas das características por ela influenciadas, dado o reconhecimento pela genética da existência de múltiplos heterozigotos para um mesmo gene e da superveniência de fenômenos relacionais entre esses genes (WRIGHT, 1931). A partir da Síntese e da consolidação da ideia de variação entre as espécies como sendo não somente

fenotípica, mas também genética, abria-se, portanto, uma nova via de classificação por homologia, com base na aplicação do critério de semelhanças e diferenças às moléculas carreadoras da informação genética ou de uma transcrição dela. Trata-se, com efeito, do que viria a ser ao longo do século XX denominado filogenia molecular (ZUCKERKANDL; PAULING, 1965). A filogenia molecular desenvolve-se *pari passu* com o desenvolvimento das técnicas de manipulação laboratorial de material genético, sobretudo na segunda metade do século XX, após a identificação da natureza química das moléculas carreadoras da informação genética. Por ser esse um desenvolvimento posterior ao período de nossa análise dos conceitos evolucionistas, não nos aprofundaremos nessa discussão. Importa-nos, no entanto, destacar rapidamente a porta de aplicação da homologia que foi aberta pelos desenvolvimentos conceituais da Síntese.

A despeito de todas as mudanças ao longo do tempo que caracterizam o fenômeno evolutivo, a matéria orgânica conserva, em sua estrutura de organização, sua história pregressa, de modo que, como nos apontam Emile Zuckerkandl e Linus Pauling (1965, p. 357), “nós podemos nos questionar onde, nos atuais sistemas vivos, a maior quantidade de sua história pregressa sobreviveu e como ela pode ser extraída²²¹”. Tendo em mente esse objetivo de utilizar moléculas como documentos da história evolutiva, Zuckerkandl e Pauling (1965: p. 357-358) categorizam as moléculas presentes nos sistemas vivos em três categorias, de acordo com o grau em que as informações específicas existentes em um organismo se refletem nelas: semântides (moléculas que carregam a informação genética, como os genes, ou uma transcrição dela, como o RNA-mensageiro ou polipeptídeos); moléculas epissemânticas (moléculas sintetizadas sob o controle dos semântides); e moléculas assemânticas (moléculas que não são produzidas pelo organismo e que não carregam nenhuma informação relativa a ele). Os três tipos de semântides – DNA, RNA e polipeptídeos – são as moléculas preferenciais que servirão para a realização, na segunda metade do século XX, de estudos de filogenia molecular²²²:

²²¹ Traduzido de ZUCKERKANDL; PAULING, 1965, p. 357: “We may ask the questions where in the now living systems the greatest amount of their past history has survived and how it can be extracted”.

²²² Essa linha de pesquisas viria também a ser denominada paleogenética química (“chemical paleogenetics”) ou filogenética (“phylogenetic”). Preferimos a ela nos referir como “filogenia molecular” (“molecular phylogeny”), para evitarmos interpretações restritivas, que a associem apenas a moléculas de DNA, com exclusão de RNA e polipeptídeos (proteínas). Esse tipo de restrição é conveniente, afinal, nunca é demais recordar que “os três scripts usados pela natureza” nos semântides representam, em larga medida, a mesma mensagem (ZUCKERKANDL; PAULING, 1965, p. 361). Importa salientar, ainda, que a história evolutiva é investigada, nos semântides, tendo como referência a ideia de gene, a qual envolve não somente a estrutura dessas moléculas (homologia comparativa de moléculas), mas também a comparação de funções desempenhadas após a expressão de suas informações, para o que o estudo das proteínas é fundamental (Ver, por exemplo, WATERS, C. Kenneth. Molecules made biological. *Revue internationale de philosophie*, p. 539-564, 2000).

“nesses tipos de macromoléculas, existe mais história sendo formada e mais história preservada do que em qualquer outro nível individual de integração biológica²²³” (ZUCKERKANDL; PAULING, 1965, p. 360). A partir da Síntese Evolutiva Moderna, portanto, novas evidências para o estabelecimento de relações de filogenia passaram ser obtidas com base na análise das similaridades das espécies (i) quanto à presença ou à ausência dessas moléculas, (ii) por comparações da homologia de suas estruturas, (iii) por estimativa do tempo de existência dessas moléculas nas linhas genealógicas das espécies comparadas; (iv) por rastreamento da linha de descendência ao longo da qual mudanças nessas moléculas ocorrem; entre outros critérios de classificação (ZUCKERKANDL; PAULING, 1965, p. 360).

4.1.e Aprimoramentos conceituais: anagênese e cladogênese

A maior disponibilidade e confiabilidade das evidências obtidas com auxílio dos diferentes métodos de filogenia, em cruzamento com as informações oriundas da morfologia comparativa e dos renovados métodos de estudos dos fósseis, permitiram aos naturalistas a identificação de um número crescente de espécies, a distinção de algumas classificações ambíguas e ajustes em posicionamentos taxonômicos prévios que haviam sido feitos apenas com uso dos métodos tradicionais (SOBBER, 1994). Ademais desses ganhos factuais que as novas ou renovadas metodologias dos estudos de filogenia aportaram para a classificação da diversidade das espécies, interessa-nos, sobremaneira, suas repercussões sobre o arcabouço conceitual da Síntese Evolutiva Moderna.

Se recuperarmos brevemente a discussão que trouxemos previamente, aquela sobre a ideia de “mudança ao longo do tempo”, notaremos que Lamarck, com sua teoria transformacionista, buscou explicar como forças internas e a transmissão ao longo do tempo de características adquiridas pelo uso e desuso transformavam uma espécie em outra e produziam a diversidade dos seres da Terra. Para ele, contudo, uma vez configurada uma nova espécie, ela permaneceria inalterada por longos períodos, até que um novo processo de diferenciação de alguns de seus indivíduos, em resposta às exigências do ambiente, levasse à transformação dela, de forma abrupta, em uma nova espécie. Com Darwin, o termo “evolução” passa a significar a mudança gradual das populações ao longo das gerações e a diversificação de uma espécie em novas espécies. O pensamento populacional darwiniano trouxe, para as tentativas de explicação

²²³ Traduzido de ZUCKERKANDL; PAULING, 1965, p. 360: “[...] in macromolecules of these types there is more history in the making and more history preserved than at any other single level of biological integration”

causal do fenômeno da diversificação das espécies, portanto, uma linha de problemas com a qual Lamarck e os demais predecessores de Darwin não haviam se deparado: tornou-se necessário responder tanto ao questionamento de “como novas espécies são geradas?”, como também ao questionamento de “como ocorrem as mudanças de uma mesma espécie ao longo do tempo?” A partir de Darwin, portanto, o fenômeno evolutivo compreenderá duas vias possíveis para as mudanças das espécies: uma mudança na mesma linhagem e a formação de novas espécies:

Darwin também viu claramente que existem dois aspectos da evolução. Um é o movimento "ascendente" de uma linhagem filética, sua mudança gradual de um ancestral para uma condição derivada. Isso é conhecido como anagênese. A outra consiste na divisão de linhagens evolutivas ou, mais genericamente, na origem de novos ramos (clados) da árvore filogenética. Este processo de origem da biodiversidade é denominado cladogênese. Ele sempre começa com um evento de especiação, mas o novo clado pode se tornar, com o tempo, um ramo importante da árvore filogenética por divergir crescentemente do tipo ancestral. [...] Anagênese e cladogênese são processos amplamente independentes²²⁴ (MAYR, 2002, p. 12).

Bem verdade, para sermos precisos, devemos ressaltar que Darwin não conceituou, expressamente, essas duas vias evolutivas. Foram os pensadores da Síntese Evolutiva Moderna que viriam a dar ênfase na distinção que configura as duas vias possíveis do fenômeno evolutivo. Contribuições para esse desenvolvimento conceitual vieram, particularmente, de Theodosius Dobzhansky (1900-1975), o quarto e último membro do quarteto de pensadores da Síntese que escolhemos para estudar. Como na obra de Alexandre Dumas, Dobzhansky seria o nosso D'Artagnan, que agora se junta aos Três Mosqueteiros tradicionalmente apontados na literatura – Fisher, Wright e Haldane. Dobzhansky foi um importante biólogo soviético, radicado nos Estados Unidos a partir da década de 1920 (ARAÚJO, 2001), com uma vasta produção acadêmica de contribuições para a Síntese Evolutiva Moderna, que inclui a obra canônica *Genética e a origem das espécies* (*Genetics and the Origin of Species*, no título em língua inglesa), de 1937, que, em sua primeira edição, escolhemos como fonte primária de nossa análise reflexiva. Ao enfatizar a importância da corrente investigativa do fenômeno de especiação (formação de novas espécies), ele dá maior nitidez ao fato de que o conjunto de causas do processo evolutivo ensejava dois conjuntos distintos de efeitos:

²²⁴ Traduzido de MAYR, 2002, p. 12: “Darwin also saw clearly that there are two aspects of evolution. One is the “upward” movement of a phyletic lineage, its gradual change from an ancestral to a derived condition. This is referred to as anagenesis. The other consists of the splitting of evolutionary lineages or, more broadly, of the origin of new branches (clades) of the phylogenetic tree. This process of the origin of biodiversity is called cladogenesis. It always begins with an event of speciation, but the new clade may become, in time, an important branch of the phylogenetic tree by diverging increasingly from the ancestral type. [...] Anagenesis and cladogenesis are largely independent processes”.

Dobzhansky formulou brilhantemente uma tarefa diferente para a teoria da evolução — um empreendimento incorporado no título da obra de Darwin (mas não tratado como um tema principal em seu livro) e oriundo das tradições da sistemática e da história natural (embora dificilmente concebível para alguém com as visões de Morgan e, em grande parte, de Darwin sobre a irreabilidade das espécies): como uma teoria originalmente construída para descrever mudanças contínuas em populações naturais pode também explicar a estrutura descontínua da diversidade taxonômica da natureza? O problema central da evolução, afirmou Dobzhansky, é a origem da descontinuidade entre as espécies. Essa afirmação parece lugar comum hoje em dia, mas apenas porque Dobzhansky e a Síntese Moderna colocaram essa questão no centro do palco²²⁵ (GOULD, 2002, p. 532).

Detalhando essas duas vias evolutivas, anagênese diz respeito à evolução de uma linhagem genealógica desde um ancestral comum até sua forma atual (ou até o momento de sua extinção), recuperada pela recomposição da trajetória dessa linhagem da base até o topo da árvore da filogenia. Cladogênese, por sua vez, refere-se ao processo de ramificação das categorias da árvore da filogenia em novos troncos e galhos de seres vivos, resultando na diversificação das espécies (especiação) e consequente formação das demais categorias taxonômicas (HULL & RUSE, 1998; SOBER, 1994).

Recorrendo a esses conceitos para sumarmos algo que dissemos antes, observamos que, com vistas a fundamentar o princípio da ancestralidade comum, embora Darwin, na via da anagênese, não tenha se engajado tão profundamente na tarefa de traçar as linhagens genealógicas de grupos específicos de espécies, ele realizou extensivo trabalho na via da cladogênese, conforme atestam a pletora de exemplos da diversidade das espécies por ele apresentados na *Origem das espécies* e em suas obras posteriores. (BOWLER, 2009, p.182). Constatamos ainda que, a partir da Síntese Evolutiva Moderna, com a ênfase na distinção conceitual precisa entre as ideias de anagênese e cladogênese e o uso de evidências oriundas dos métodos de comparação por homologia, ambas as vias evolutivas lograram somar, progressivamente, exemplos ilustrativos de suas representações pela filogenia. Se, como vimos, com Huxley e as evidências fósseis, os exemplos ilustrativos que auxiliavam na construção da filogenia evolutiva haviam adquirido o status cognitivo de "evidência demonstrativa da evolução", podemos concluir que, com os novos desenvolvimentos da Síntese e as evidências

²²⁵ Traduzido de GOULD, 2002, p. 532: “Dobzhansky brilliantly set a different task for evolutionary theory—an enterprise embodied in Darwin's title (but not treated as a major theme in his book), and emerging from traditions of systematics and natural history (while scarcely conceivable for someone with Morgan's, and to a large extent Darwin's, views on the unreality of species): how can a theory originally constructed to describe continuous change in natural populations also explain the discontinuous structure of nature's taxonomic diversity? The central problem of evolution, Dobzhansky asserted, is the origin of discontinuity among species. This statement sounds commonplace today, but only because Dobzhansky and the Synthesis moved the question to center stage”.

oriundas dos diversos métodos de estudos da filogenia, esse status se enraíza em bases empíricas ainda mais sólidas.

4.1.f Por um olhar epistemológico sobre as categorizações

A classificação da diversidade das espécies, desde a classificação taxonômica tradicional até a filogenia contemporânea, parte, sob o ponto de vista metodológico, de uma categorização tipológica dos seres vivos, com base em critérios observáveis ou aferíveis da estrutura dos corpos dos organismos, em diferentes níveis de detalhes. Como toda categorização, ela baseia-se na premissa de que divisões fundamentais podem ser feitas entre os entes do mundo material (HONDERICH, 2005). Ela difere de outras categorizações, todavia, em alguns aspectos. A categorização da diversidade das espécies não é uma categorização meramente linguística, a exemplo da distinção entre sujeito e predicado de uma frase, tampouco somente lógica, como a distinção dos termos opostos de um paradoxo. Trata-se, com efeito, de uma categorização de entes materiais: são organismos que estão sendo distinguidos uns dos outros, com base em características materiais que são observáveis e apreensíveis diretamente pelos sentidos ou aferíveis indiretamente por meio de instrumentos auxiliares dos sentidos. Ora, dadas essas características metodológicas, podemos presumir que a categorização tipológica dos seres vivos se alinha, à primeira vista, a concepções essencialistas e fixistas dos fenômenos biológicos (LOVE, 2009). Corrobora esse argumento o fato de que, quando Carlos Lineu publicou o *Systema Naturae*, obra magna em que institui o sistema de categorização que ainda hoje é a base das classificações biológicas, prevalecia, nas explicações sobre a diversidade das espécies, essa concepção metafísica de mundo estática e essencialista:

O fundador da taxonomia moderna, Lineu, falou em nome do consenso: as espécies eram essencialmente imutáveis, conforme decretado por Deus, embora formas híbridas pudessem surgir. A taxonomia de Lineu substituiu a de Aristóteles e marcou o fim da 'Great Chain of Being' como uma influência significativa no pensamento ocidental, tornando-se, assim, muito influente²²⁶ (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 162).

Um questionamento imediato que esse alinhamento, presumido como necessário, da categorização tipológica comparativa com uma metafísica essencialista e fixista nos suscita é porque esse tipo de categorização não teria sido, então, imediatamente invalidado quando do

²²⁶ Traduzido de AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 162: "*the founder of modern taxonomy, Linnaeus, spoke for the consensus: species were essentially immutable, as decreed by God, though hybrid forms could emerge. Linnaeus's taxonomy superseded Aristotle's and heralded the end of the 'great chain of being' as a major influence on western thought, so it was very influential*".

advento do pensamento evolucionista. Como primeiro passo para responder a essa questão, recordemos uma de nossas discussões prévias, aquela de que Darwin, embora tenha recorrido à classificação taxonômica de Lineu, não adotou a hipótese por este assumida, "de que todas as formas haviam sido criadas por ação divina em uma ilha equatorial (Éden)" (AGUTTER; WHEATLEY, 2008, p. 132). O princípio da ancestralidade comum permitia a Darwin explicar as semelhanças identificadas empiricamente e utilizadas na classificação taxonômica com base na ideia de genealogia comum, sem precisar assumir que as categorias taxonômicas tinham o mesmo caráter que Lineu as atribuía, como sendo definidoras da essência dos seres:

Expressões como a de Lineu, muito famosa, com que tantas vezes deparamos em formulação mais ou menos explícita, de que os caracteres não fazem o gênero, mas é este que dá os caracteres, parecem implicar que algo mais além de semelhança estaria embutido nos caracteres. Creio, de fato, que é o caso: a proximidade de descendência, causa única de similaridade entre os seres orgânicos, recoberta por sucessivos graus de modificação, elo este que é revelado, ao menos em parte, por nossa classificação (DARWIN, 2018, p. 545-546).

Esse desconforto entre o caráter estático e fixista das categorizações elaboradas sob a égide do pensamento tipológico e o caráter dinâmico e centrado nas variações do fenômeno evolutivo, conforme previsto pelo pensamento populacional, tendeu a crescer entre alguns pensadores da Síntese Evolutiva Moderna. Nos trabalhos de Fisher, Wright e Haldane, cujas preocupações estavam voltadas, predominantemente, como vimos no capítulo anterior, para os aspectos quantificáveis da teoria evolutiva, esse aspecto não ganha relevo. Para Dobzhansky, no entanto, essa discussão mostra-se importante na medida em que ele exaltava claramente que os princípios alicerçantes do evolucionismo – a variação populacional e a mudança gradual das espécies ao longo do tempo – são noções incompatíveis com classes tipificadas e fixas (DOBZHANSKY, 1937). Na esteira de Dobzhansky, toda uma corrente de evolucionistas do século XX, entre os quais se destacam Ernst Mayr²²⁷ e Elliott Sober²²⁸, viria a se opor, de forma contundente, à aplicação do pensamento tipológico nas explicações evolucionistas²²⁹. Sobre essa questão, concordamos com Alan Love (2009) em sua impressão de que o aspecto

²²⁷ Ver, por exemplo, MAYR, Ernst; PROVINE, William B. (Ed.). *The evolutionary synthesis: perspectives on the unification of biology*. Harvard University Press, 1980.

²²⁸ Ver, por exemplo, SOBER, Elliott. Evolution, population thinking, and essentialism. *Philosophy of Science*, 1980, v. 47, no 3, p. 350-383.

²²⁹ Estamos mencionando Mayr e Sober, lado a lado, pois eles assumiam o essencialismo como sendo inerente ao pensamento tipológico. Eles, no entanto, opuseram-se às tipologias essencialistas de formas algo diferentes. Mayr manifestou-se de uma maneira mais aguerrida e com argumentos metafísicos mais genéricos em sua frente de batalha contra a biologia do desenvolvimento, enquanto Sober o fez de forma mais parcimoniosa, detalhada e conceitualmente rigorosa. As objeções de ambos, no entanto, parecem-nos que estão entre as justificativas para os arrepios ainda hoje despertados pela palavra "essencialismo" entre alguns cientistas e filósofos que estudam os fenômenos biológicos.

metafísico das reflexões sobre as categorizações parece ser um dos principais motivos pelos quais esses pensadores erigiram suas trincheiras:

Abordagens tipológicas eram supostamente formas implícitas ou explícitas de essencialismo, que entendiam o pertencimento a uma espécie em termos do compartilhamento de uma essência comum ou de um conjunto de características essenciais. As espécies biológicas eram consideradas tipos naturais, e 'o essencialismo é uma visão filosófica padrão sobre tipos naturais'. No entanto, os conjuntos de propriedades essenciais para o pertencimento a uma espécie não mudam ao longo do tempo, enquanto as espécies mudam; as espécies são entidades históricas, indivíduos ligados por um nexo genealógico, enquanto os tipos naturais não o são; as espécies são espaço-temporalmente restritas, ao passo que os tipos naturais não são. A tipologia nos induziu ao erro porque as espécies não são tipos naturais, mas sim indivíduos²³⁰ (LOVE, 2009, p. 5-6).

Mesmo diante dessa oposição, de ordem metafísica, ao pensamento tipológico, nossas reflexões ao longo desta seção nos permitem afirmar que, sob o ponto de vista da prática de investigação científica dos fenômenos evolutivos, parte importante do fundamento da validade lógica do princípio de ancestralidade comum, inclusive na tese do próprio Darwin, está centrada na atividade intelectual de categorização e classificação comparativa da diversidade das espécies. Refutar essa estratégia cognitiva, em todas as suas dimensões, implicaria desprezar as contribuições para a ancestralidade comum aportadas pela morfologia, pela paleontologia, pela embriologia e por toda uma vertente da biologia comparativa cuja racionalidade está fundada na categorização tipológica (LOVE, 2009, p. 3). Implicaria, por consequência, atacar diretamente, sob o ponto de vista lógico, alguns dos sustentáculos empíricos do princípio da ancestralidade comum e de seus derivativos conceituais – taxonomia, genealogia, filogenia, arborização da diversidade da vida, entre outros. Entendemos, portanto, que, ainda que o recurso a categorizações ofereça desafios às explicações evolucionistas, sob o ponto de vista metafísico, os cientistas e pensadores evolucionistas ainda não podem prescindir inteiramente delas, sob o ponto de vista prático, em seu intento de assegurar ampla validade ao princípio da ancestralidade comum.

Diante do que precede, notamos que o recurso a um pensamento tipológico, para fundamentar o princípio da ancestralidade comum, apresentou-se nos debates da Síntese

²³⁰ Traduzido de LOVE, 2009, p. 5-6: "*Typological approaches were supposedly implicit or explicit forms of essentialism that understood species membership in terms of sharing a common essence or set of essential features. Biological species were natural kinds and "essentialism is a standard philosophical view about natural kinds" (Sober 2000, 148). But sets of essential properties for species membership do not change over time and species do; species are historical entities, individuals linked together by a genealogical nexus, and natural kinds are not; species are spatio-temporally restricted, whereas natural kinds are not. Typology led us astray because species are not natural kinds but individuals*".

Evolutiva Moderna como um aparente impasse entre a impossibilidade lógica, na dimensão metafísica, e a necessidade instrumental, na dimensão da prática biológica. Na busca por uma solução para esse impasse, notamos que pelo menos duas²³¹ relevantes possibilidades de abordagem do problema se mostrariam disponíveis aos evolucionistas. A primeira abordagem consiste na opção por uma rejeição de disciplinas fundadas numa lógica tipificante, por adesão a uma posição metafísica anti-essencialista rígida. Rejeições desse tipo, voltadas sobretudo à biologia do desenvolvimento (MAYR, 1980), trazem consigo, a nosso juízo, o risco de redução da abrangência (poder de generalização) do princípio da ancestralidade comum, caso ele venha a ser fundamentado apenas no pensamento populacional e nas evidências empíricas oriundas da genética molecular. O resultado potencial dessa abordagem sobre o valor cognitivo do princípio da ancestralidade comum poderia ser, a nosso juízo, um aumento do conteúdo empírico, com redução do poder de generalização.

Uma segunda abordagem possível consistiria em se buscar conservar uma aplicação ampliada do poder explicativo do princípio da ancestralidade comum nas explicações biológicas, com a continuidade do uso da sistemática e das metodologias comparativas em sua fundamentação. O resultado potencial de uma abordagem desse tipo sobre o valor cognitivo do princípio da ancestralidade comum poderia ser, a nosso juízo, uma redução do conteúdo empírico, com aumento do poder de generalização. Entendemos que a adoção desta última abordagem dependeria de uma abertura de espírito que permita uma acomodação, em alguma medida, das categorizações tipológicas no seio das explicações biológicas. Uma vez que, sob a perspectiva da metafísica, o pensamento tipológico "envolve cometer o pecado capital de ignorar a variação e fazer um apelo tácito ao essencialismo, o que é metafisicamente incompatível com o pensamento populacional" (LOVE, 2009, p. 3), ora, não resta alternativa a não ser buscar essa acomodação fora da metafísica. Prosseguindo nessa via de reflexão, podemos reconhecer que uma das alternativas logicamente coerentes de acomodação perpassaria por uma transição da esfera de reflexão da dimensão metafísica para a dimensão epistemológica do problema. Mais precisamente, a acomodação perpassaria por “uma

²³¹ Em sua revisão dos desafios enfrentados pela metafísica do essencialismo para atender à necessidade prática dos cientistas de recorrer ao pensamento tipológico, Alan C. Love (2009, p. 55-60) menciona alguns outros caminhos alternativos, aventados mais recentemente por evolucionistas da Síntese Estendida, como (i) a atribuição da essência das espécies a um cluster de propriedades homeostáticas, o que desloca o *locus* da essência do indivíduo para o sistema; ou (ii) a definição de essência como uma propriedade relacional extrínseca aos seres, o que desloca o *locus* da essência da estrutura de cada uma das partes para as relações entre elas. Embora sejam abordagens mais flexíveis - muito interessantes e promissoras, bem verdade -, elas não deixam de ainda posicionar, no primeiro plano, a dimensão metafísica. Conforme explicaremos a seguir, optaremos por privilegiar a dimensão epistemológica dessa discussão.

reconfiguração da discussão sobre tipologia em biologia para longe de discussões metafísicas sobre o essencialismo e em direção à prática científica (ou epistemologia) da classificação dos fenômenos naturais para fins de investigação empírica” (LOVE, 2009, p. 3). Tendo em mente nossa opção manifesta neste trabalho por reflexões na dimensão epistemológica, assumiremos essa segunda abordagem como nosso guia para um aprofundamento nessa questão. Com isso, voltaremos nossa atenção, na subseção seguinte, para a análise das implicações sobre a validade do princípio da ancestralidade comum decorrentes de uma abordagem das categorizações e classificações da diversidade dos seres vivos por meio de um olhar epistemológico.

4.1.g Validade do princípio da ancestralidade comum

Como ponto de partida para nossa reflexão sobre a fundamentação da validade do princípio da ancestralidade comum pela filogenia, devemos reconhecer um elemento importante: ainda que venhamos a analisar a sistematização da filogenia sob uma dimensão primeiramente epistemológica, a divergência entre o caráter compartimentalizado da categorização e a gradualidade do fenômeno biológico a ser por ela descrito não se dissipará e persistirá sendo uma dificuldade a ser vencida pelo modelo explicativo evolucionista. Com isso, para prosseguirmos nossa reflexão, não poderemos desprezar esse questionamento, mas poderemos rerepresentá-lo em outros termos (com a dimensão metafísica deixada à parte): como pode uma representação de categorias que reúnem os indivíduos em estamentos tipológicos estanques, como é o caso da classificação da filogenia, contemplar o fenômeno da mudança e diversificação das espécies ao longo do tempo, que é lento e gradual? Como ponto de partida para essa discussão, chamemos a atenção para o fato de que, em nossa reformulação do problema, introduzimos nela um conceito que é bastante caro para o argumento que seguirá, que é a ideia de "filogenia como representação".

Qualquer explicação racional requer, para ser inteligível, a representação do fenômeno a ser explicado (SARKAR, 1998 apud LOVE, 2009, p. 10). Sob o ponto de vista epistemológico, a representação é um modelo ideal que viabiliza o conhecimento, o mais aproximado quanto possível, da realidade²³² do fenômeno que se busca compreender e explicar. Na formação de teorias científicas, as tipologias, como estratégia cognitiva geral, atendem a

²³² Entendemos que a compreensão dessa sentença não requer de nós um engajamento nas imbricadas discussões sobre as diversas formas de realismo científico. Para detalhes sobre o tema, ver, por exemplo, CHAKRAVARTTY, Anjan. "Scientific Realism". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2017 (Summer Edition). In: Edward N. Zalta (ed.). Disponível em <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/scientific-realism/>>.

esses pré-requisitos lógicos e podem, por isso, serem consideradas como uma forma de representação (LOVE, 2009, p. 9). São essas representações que, no processo de formulação de teorias, permitem a constituição de relações abstratas, entre elas as relações de causalidade, e as generalizações (expansão do escopo da abstração para outros domínios de aplicação) (LOVE, 2009, p. 22). As categorizações e classificações da diversidade dos seres vivos, como estratégia tipológica particular às ciências biológicas, podem, por corolário, serem também consideradas representações quando de sua utilização na formulação das explicações teóricas dos fenômenos do mundo vivo. Podemos concluir, portanto, que a associação entre pensamento tipológico e essencialismo, que é assumida como necessária na dimensão metafísica (categorias como propriedades essenciais do ser), torna-se contingente na dimensão epistemológica (categorias como representações aproximadas da realidade que se quer explicar). Nós localizamos exatamente nesses elementos contingentes das categorizações na dimensão epistemológica o artifício lógico que franqueia às teorias biológicas a possibilidade de utilização do pensamento tipológico na fundamentação da validade de algumas de suas conceituações, como é o caso da representação da diversidade dos seres vivos por meio da filogenia.

Uma vez alcançado esse entendimento de que, sob o ponto de vista lógico, é possível utilizar a filogenia para representar a diversidade dos seres vivos - sem que isso signifique uma adesão necessária a um pensamento essencialista ou um desprezo inexorável da variação populacional - podemos em seguida nos perguntar por que, sob o ponto de vista epistemológico, os evolucionistas precisaram (e, bem verdade, ainda precisam) recorrer à filogenia.

Conforme mencionamos ao final do Capítulo 2, Darwin apresentou toda uma pletora de ilustrações empíricas, composta por exemplificações de espécies de variados ramos da árvore evolutiva, de insetos a plantas e aves, com vistas a embasar a inferência dos princípios de ancestralidade comum e de mudança das espécies ao longo do tempo. Existem, no entanto, componentes empiricamente inapreensíveis (não apreensíveis diretamente pelos sentidos e não aferíveis por meio de instrumentos auxiliares dos sentidos) nesses dois princípios que trazem desafios para a fundamentação de suas validades. Entendemos que é justamente na cobertura desses hiatos de inapreensibilidade epistemológica que as representações da filogenia podem servir de ponte entre a realidade a ser explicada e o entendimento humano.

Na via da anagênese (*generatio homonyma*), todos os investigadores que tencionem analisar a validade desses princípios, em qualquer momento da história, o fazem *a posteriori* da ocorrência dos fenômenos. Dado que se trata de fenômenos únicos, não reprodutíveis, que se desenvolvem ao longo de milhares, milhões de anos, isso representa uma dificuldade de

ordem temporal às inferências (RUSE, 2011). Na via da cladogênese, esses investigadores devem, ainda, enfrentar a dificuldade de descobrir como apreender, em termos intelectuais, que uma nova espécie está em formação. O fenômeno da transição das espécies – *generatio heteronyma* – é gradual e prolongado, mas se finda com uma classificação estanque, que reúne um grupo de indivíduos em uma nova categoria tipológica, diferente das existentes. Essa divergência entre a gradualidade do fenômeno e o caráter compartimentalizado da categorização e classificação da diversidade dos seres vivos representa uma dificuldade de ordem epistemológica às inferências. O fenômeno da diversificação das espécies (cladogênese), a despeito dos aprimoramentos nos métodos de arborização da diversidade da vida, permanece sendo, a nosso juízo, não observável, diretamente, e não mensurável e apreensível, indiretamente, com auxílio de instrumentos (BOWLER, 2009, p. 338). Trata-se de um inapreensível de ordem epistemológica. Assim sendo, embora os princípios de variação populacional e evolução baseiem-se na noção de continuidade, o que se observa, empiricamente, é que o espectro de distribuição da variação entre os seres vivos é descontínuo, como reconhece Dobzhansky (1937, p.4):

Se reunirmos o máximo possível de indivíduos vivendo num dado momento, notamos imediatamente que a variação observada não forma uma única distribuição de probabilidade ou qualquer outro tipo de distribuição contínua. Em vez disso, encontramos uma multiplicidade de distribuições separadas e discretas. Em outras palavras, o mundo vivo não é um único conjunto de indivíduos nos quais quaisquer duas variantes estão conectadas por séries ininterruptas de inter-graduações, mas sim um conjunto de arranjos mais ou menos distintamente separados, entre os quais os intermediários estão ausentes ou são pelo menos raros. Cada conjunto é um agrupamento de indivíduos, geralmente possuindo algumas características comuns e gravitando para um ponto modal definido em suas variações. Pequenos agrupamentos são agrupados em conjuntos secundários maiores, estes em conjuntos ainda maiores, e assim por diante, em uma ordem hierárquica²³³ (DOBZHANSKY, 1937, p.4).

Há, no entanto, alternativas lógicas para enfrentar esse elemento inapreensível de ordem epistemológica. Na alternativa que privilegiamos, a mudança das espécies, sob a perspectiva do evolucionismo darwiniano, pode ser entendida como se procedendo em degraus tão pequenos que somos conduzidos a assumir o fenômeno como sendo gradual. Para nossa experiência sensível, no entanto, quando observamos diretamente o mundo material (por observação direta

²³³ Traduzido de Dobzhansky, 1937, p.4: “If we assemble as many individuals living at a given time as we can, we notice at once that the observed variation does not form a single probability distribution or any other kind of continuous distribution. Instead, a multitude of separate, discrete, distributions are found. In other words, the living world is not a single array of individuals in which any two variants are connected by unbroken series of intergrades, but an array of more or less distinctly separate arrays, intermediates between which are absent or at least rare. Each array is a cluster of individuals, usually possessing some common characteristics and gravitating to a definite modal point in their variations. Small clusters are grouped together into larger secondary ones, these into still larger ones, and so on in an hierarchical order”.

e por evidências oriundas da morfologia, da paleontologia ou de outros métodos comparativos), os degraus observáveis dessas mudanças das espécies são muito maiores, forjando a impressão, enviesada, de um fenômeno descontínuo. A descontinuidade encontrar-se-ia, portanto, em nossa percepção do fenômeno evolutivo a partir das evidências disponíveis, não na dinâmica de funcionamento do fenômeno evolutivo. A nosso juízo, portanto, embora haja hiatos entre as espécies elencadas na sistematização da filogenia, por carência de evidências factuais, e, embora haja limitações inerentes às inferências extraídas a partir dessa sistematização, dada o caráter tipificador estanque do instrumento (uma representação discreta de um fenômeno contínuo), o poder imagético da árvore da filogenia nos auxilia a cobrir, em termos epistemológicos, o elemento de inapreensibilidade do fenômeno evolutivo, sobretudo de seu componente *generatio heteronyma*. A representação da filogenia é, portanto, uma ferramenta cognitiva a servir de ponte de acesso ao conhecimento sobre o fenômeno evolutivo, auxiliando a superar algumas das lacunas impostas pelos seus elementos epistemologicamente inapreensíveis a partir da experiência empírica. Nesse sentido, nós nos posicionamos entre os filósofos apontados por Pedro Paulo Pimenta, em sua apresentação à versão da *Origem das espécies* com que estamos trabalhando (DARWIN, 2018), quando ele afirma que:

A ciência da classificação dos seres naturais é um procedimento que se poderia dizer universal da razão humana – cuja função lógica essencial consiste, no entender de muitos filósofos, no ato de reunir diferentes indivíduos particulares sob denominações gerais, produzindo, assim, uma representação estável da experiência sensível (DARWIN, 2018, p. 14, Apresentação de “O grande livro de Charles Darwin”).

Podemos defender, portanto, que uma justificativa importante para o não abandono das sistematizações taxonômicas pelos evolucionistas reside nesse seu uso eminentemente prático e dirigido ao atendimento de objetivos específicos de investigação científica. Não é difícil encontrarmos, já nos argumentos de Darwin, os indícios de que ele enxergava a árvore da vida via esse prisma representativo, como podemos notar na seguinte passagem extraída de uma de suas correspondências dirigidas a Asa Gray:

Cada nova variedade ou espécie, uma vez formada, geralmente toma o lugar de seu progenitor, menos bem-adaptado, e o extermina. Creio ser essa a origem da classificação e das afinidades entre os seres orgânicos em todos os tempos. Os seres orgânicos ramificam-se à maneira dos galhos de uma árvore, a partir de um tronco comum: os ramos florescentes e divergentes destroem os menos vigorosos, e os galhos, apodrecidos ou caídos no chão, seriam como uma representação, é verdade que algo rudimentar, de gêneros e famílias extintos (DARWIN, 2018, p. 651).

Julgamos importante mencionar, ainda, mesmo que como uma mera digressão ao final desta seção, que há atualmente em curso tentativas consistentes de conciliação, via uma abordagem epistemológica do problema, de modelos biológicos fortemente dependentes de

categorizações, como o modelo de estágios do desenvolvimento embriológico, com as explicações evolucionistas. Esse é o caso da abordagem Evo-Devo, da Síntese Evolutiva Estendida (ULLER; LALAND, 2019). De forma breve, a Síntese Evolutiva Estendida é um movimento intelectual contemporâneo, capitaneado por evolucionistas como Massimo Pigliucci, Gerd B. Müller, Kevin N. Laland, Armin Moczek, Eva Jablonka, entre outros, que revisa os conceitos da Síntese Evolutiva Moderna *vis à vis* as evidências mais recentes sobre os fenômenos biológicos, em busca de um enfoque mais pluralista das explicações causais da evolução (CESCHIM; DE OLIVEIRA; DE ANDRADE CALDEIRA, 2016). Devemos reconhecer que o status cognitivo da tipologia nas explicações biológicas ainda permanece sendo uma questão controversa, mesmo no âmbito da Síntese Evolutiva Estendida. Conquanto os resultados de tentativas como essa de integração do pensamento tipológico com o pensamento populacional ainda sejam incertos, vale ressaltar que elas marcham ao longo da supramencionada via da acomodação da reflexão sobre o tema na dimensão epistemológica. Uma vez que o desenvolvimento de conceitos específicos pela Síntese Estendida extrapola o escopo temporal de nossa reflexão neste trabalho, não nos alongaremos muito mais nessa discussão²³⁴. No entanto, antes de encerrarmos esse ponto, não nos furtaremos de assinalar que essa reflexão sobre a questão da tipologia ilustra com nitidez o fato de que a trajetória do desenvolvimento conceitual evolucionista – que com este trabalho temos buscado delinear – não é, obrigatoriamente, uma trajetória de progresso linear inexorável. Podemos ponderar, *à juste titre*, que uma abordagem desse problema conceitual centrada na metafísica essencialista das categorizações, conforme privilegiada por alguns dos principais pensadores da Síntese Evolutiva Moderna na segunda metade do século XX, não nos parece representar, necessariamente, uma alternativa melhor simplesmente porque é posterior, em termos temporais, aos conceitos evolucionistas do século XIX. Tampouco precisaremos entendê-la como um caminho sem retorno para o aprimoramento conceitual do evolucionismo. Acreditamos que soluções intelectuais para problemas conceituais do presente podem ser encontradas dando-se um passo atrás na trajetória de desenvolvimento das teorias, sendo, por vezes, necessário um recuo até a origem dos conceitos. Bem verdade, essa é uma das premissas que tínhamos em mente quando nos engajamos na escrita deste trabalho, acreditando que lançar um olhar judicioso sobre os conceitos que estão no retrovisor nos posiciona em melhor condição para discernir e tomar decisões sobre os caminhos teóricos que se nos apresentam à frente.

²³⁴ Para excelentes apresentações de algumas das discussões em curso no âmbito da Síntese Estendida, ver FUTUYMA, 2017; JABLONKA; LAMB, 2014 ou ULLER; LALAND, 2019.

Discutidos os alcances e limites da fundamentação da validade do princípio de ancestralidade comum com o recurso à sistematização da diversidade dos seres vivos por meio das representações da filogenia, consideraremos agora as implicações do uso dessas representações sobre a efetividade desse princípio.

4.1.h Efetividade do princípio da ancestralidade comum

Conforme discutimos acima, categorizar entes ou fenômenos significa buscar encontrar ordem em um mundo material que, sem esse esforço, se apresentaria a nossos olhos como caótico. A aplicação efetiva do método de categorização e classificação – seja para fins de classificação enciclopedista, bibliográfica, documental ou taxonômica – implica enfrentar um desafio epistemológico que não é trivial, aquele de encontrar coerência lógica na análise de identidades e diferenças (FADAIE, 2008). Isso deve-se ao fato de que, quando da execução da atividade cognitiva de categorizar e classificar cada organismo ou grupo de organismos, os biólogos precisam, por um lado, encontrar características que coincidam, minimamente, com os critérios definidores do que seria o tipo “espécie” (gênero ou outra categoria taxonômica) que se busca identificar, ao tempo em que, por outro lado, precisam identificar diferenças que distingam esse grupo de indivíduos das outras espécies (gênero ou outra categoria taxonômica) existentes. Em se tratando da categorização e classificação de seres vivos, entes cuja variação populacional é a regra, o limiar de separação entre identidades e diferenças não é, decerto, uma fronteira facilmente demarcável em todos os casos, sob os pontos de vista tanto epistemológico quanto metodológico (LOVE, 2009). A efetividade da estratégia de representação da diversidade das espécies por meio da filogenia, no atendimento de seu objetivo científico, aquele de representar a realidade da diversidade das espécies que se quer explicar, dependerá, logo, das escolhas relacionadas aos critérios diferenciadores das categorias:

As representações são construídas de acordo com uma série de "virtudes" que os esquemas taxonômicos buscam alcançar: abrangência, grupos de tamanho adequado, grupos razoavelmente homogêneos, limites razoavelmente bem definidos entre os grupos e estabilidade. [...] Grupos e limites "razoavelmente" homogêneos são consequências da identificação da tipicidade com base em certas características. Esses tipos são idealizados no sentido de excluir intencionalmente certas formas de variação para fins explicativos e são úteis justamente porque os pesquisadores fazem isso conscientemente²³⁵ (LOVE, 2009, p. 21).

²³⁵ Traduzido de LOVE, 2009, p. 21: “*The representations are constructed according to a number of ‘virtues’ that taxonomic schemes strive for: comprehensiveness, suitably sized groups, reasonably homogeneous groups, reasonably sharp boundaries between groups, and stability (Dupré 2001, Section 3). [...] ‘Reasonably’*

Podemos analisar os fatores que influenciam nas escolhas desses critérios diferenciadores tomando em consideração diferentes dimensões. De início, recordaremos o que dissemos algumas páginas acima: a construção de sistemas de categorização e classificação que representam a diversidade dos seres vivos é dependente da forma de olhar para o mundo dos indivíduos que procedem a classificação e da extensão das informações e evidências empíricas disponíveis (FADAIE, 2008, p. 3). Dito de forma mais simplista, a escolha dos critérios depende de quem escolhe e da quantidade e qualidade das evidências disponíveis. Diante do argumento que precede, constatamos que a definição dos critérios diferenciadores e o julgamento dos graus de semelhanças e diferenças de como as características diferenciadoras se apresentam nas espécies depende, em larga medida, da conveniência dos biólogos.

Sobre esse elemento de conveniência nas escolhas, repetiremos argumento análogo ao que apresentamos no Capítulo 1, quando discutimos os critérios definidores de causa e efeito e de validade e efetividade das conclusões causais: a existência de um componente de conveniência na definição de critérios diferenciadores – no caso da biologia comparativa, de critérios de homologia –, não implica, necessariamente, que a categorização seja arbitrária. Trata-se de uma convenção socialmente aceita a respeito desses critérios. O recurso à convencionalidade²³⁶ para a definição de critérios, parâmetros e, até mesmo, conceitos, é uma prática social que, assim como, por exemplo, o *peer review*, é sistemática e eficientemente utilizada na metodologia científica (CREATH, 2023). A consistência dos métodos de análise de homologia dos seres vivos reside no rigor lógico que os sustenta e no processo de validação histórica de seus resultados, feito por múltiplos cientistas, ao longo do tempo, em um exercício de revisão por pares que começou muito antes de Darwin, e que continua até o presente. Os critérios diferenciadores da homologia a que nos referimos são, portanto, uma convenção que serve a fins científicos, coletivamente construída pelos estudiosos dos fenômenos biológicos, ao longo de anos, não sendo jamais determinada por um único indivíduo. São convenções aceitas como verdade por um "acordo intersubjetivo" (POPPER, 2013) entre os evolucionistas. Precisamente construídas, categorizações convencionadas desse tipo podem dotar os conceitos até mesmo de valor cognitivo de predição futura, permitindo a inferência sobre a existência de uma gradação nas relações de parentesco entre espécies ainda não conhecidas empiricamente. Em 1861, por exemplo, dois anos após a publicação da *Origem das espécies*, a descoberta do

homogeneous groups and boundaries are consequences of isolating typicality with respect to certain features. These types are idealized in the sense of intentionally excluding particular forms of variation for explanatory purposes and are useful precisely because researchers knowingly do so".

²³⁶ Para mais sobre uma perspectiva flexível da convencionalidade, com a qual concordamos, ver o "princípio de tolerância" em CARNAP, Rudolf. *Testability and Meaning, Philosophy of Science*, v. 3: 419–71, 1936.

fóssil de um animal do período jurássico denominado *Archaeopteryx*, com características mistas de répteis e aves, sagrou-se como uma eloquente evidência empírica das predições então já existentes de que as aves descenderiam dos répteis (MAYR, 2002, p. 16-17).

As características cuja homologia é comparada variam de acordo com o método empregado pelas variadas correntes da biologia comparativa:

A anatomia comparada utiliza quadros de repartição estrutural para produzir partes anatômicas, a morfologia funcional classifica as partes em termos de suas atividades (repartição por processo) e a biologia do desenvolvimento, ao se preocupar com a causalidade durante a ontogenia, leva à repartição de 'partes-causa' e 'partes-resultado' (repartição por processo)²³⁷ (WINTHER 2006, p. 479-494 apud LOVE, 2009, p. 31).

Nesse contexto de multiplicidade de métodos, os anatomistas, os paleontólogos, embriologistas, geneticistas, biólogos moleculares, zoólogos, botânicos, entomologistas e os demais estudiosos que eventualmente se engajarem na tarefa de categorização e classificação dos seres vivos deverão ter, ademais da preocupação com a escolha de critérios apropriados para o seu objeto de investigação empírica, a incumbência de fazer os esforços necessários para que haja uma coincidência entre os diferentes métodos quanto a esses critérios escolhidos²³⁸. Darwin já chamava nossa atenção para essa necessidade de harmonização de critérios e julgamentos entre os especialistas, com vistas a sedimentar uma classificação efetiva da diversidade das espécies:

Para determinar se uma forma deve ou não ser classificada como espécie ou variedade, o único guia é a voz dos naturalistas com sólido discernimento e vasta experiência. Em muitos casos, devemos decidir pela maioria das vozes; pois raras são as variedades bem definidas e conhecidas que não foram classificadas como espécies por algum entre os juízes mais competentes (Darwin, 2018, p.99).

Com a Síntese Evolutiva Moderna, tornou-se corrente o recurso a técnicas estatísticas para o tratamento dos caracteres diferenciadores quantificáveis a serem usados nas classificações sistemáticas, o que inclui, entre outros aspectos, o uso desses critérios estatísticos para a definição de espécies e a análise da variação intra-espécie (comparações de uma mesma população ou intra-populações) (SOKAL, 1965)²³⁹. Mesmo com o auxílio de um tratamento

²³⁷ Traduzido de WINTHER 2006, pp. 479-494, Apud LOVE, 2009, p. 31: "*Comparative anatomy uses structural partitioning frames to produce anatomical parts, functional morphology classifies parts in terms of their activities (process partitioning), and developmental biology's concern with causation during ontogeny leads to partitioning 'cause-parts' from 'outcome-parts' (process partitioning)*".

²³⁸ Com o advento da filogenia molecular, critérios de semelhanças e diferenças estruturais e funcionais passariam, ao longo do século XX, a ser aplicados, também, às moléculas carreadoras da informação genética ou de uma transcrição dela (ZUCKERKANDL; PAULING, 1965).

²³⁹ Atualmente, nota-se um avanço adicional dos métodos estatísticos na sistematização da diversidade da vida, com o desenvolvimento de toda uma linha de pesquisas voltada à correção filogenética ("phylogenetic correction").

estatístico específico, dado o elevado grau existente de variabilidade genética de base e de expressão fenotípica das características dos organismos, o valor diferencial de cada característica escolhida pode não ser precisamente definido por meio de um único método comparativo. Como consequência, diferenças na variação da característica escolhida como critério diferenciador existentes dentro da própria espécie, sobretudo quando se trata de populações grandes e espalhadas por extensas áreas geográficas, podem ser tão acentuadas quanto as diferenças encontradas na comparação com outras espécies quanto à apresentação dessa mesma característica. Sob o ponto de vista metodológico, portanto, categorizações comparativas, com base em características únicas, tendem a ser mais efetivas na distinção de categorias taxonômicas mais elevadas, com essa efetividade diminuindo na direção das categorias taxonômicas menos elevadas (redução da efetividade do critério diferenciador no sentido reino-espécie). A otimização da efetividade e a minimização das imprecisões das classificações nas categorias mais inferiores, como espécie e gênero, tendem a beneficiarem-se, portanto, do uso de critérios oriundos de diferentes metodologias comparativas ou do uso de análises multivariadas na comparação de vários caracteres (SOKAL, 1965). A consistência na escolha dos critérios diferenciadores e, conseqüentemente, a efetividade da representação da diversidade das espécies pela filogenia dependerão, portanto, do cruzamento dos resultados dessas múltiplas avaliações comparativas, de tal sorte que quanto maior a coincidência nos resultados das diferentes análises classificatórias, maior tende a ser a efetividade empírica da sistematização combinada delas resultante.

No que concerne à quantidade e à qualidade das evidências empíricas disponíveis ao alcance dos estudiosos do fenômeno evolutivo – um elemento que é capaz de influenciar, positivamente, no aprimoramento na efetividade das representações da filogenia –, vimos acima que a Síntese Evolutiva Moderna aportou novas fontes de evidências consistentes para as classificações genealógicas, oriundas de novos métodos ou métodos antigos renovados. Em virtude dos desenvolvimentos teóricos da física de partículas e da mecânica quântica desde as primeiras décadas do Século XX e de suas conseqüentes aplicações práticas, os evolucionistas passaram a poder recorrer, por exemplo, a métodos de datação por radioisótopos dos achados paleontológicos, os quais, quando aplicados diretamente na amostra fóssil ou indiretamente nas camadas geológicas correspondentes aos achados fósseis, permitem ainda maior precisão nas estimativas de sua origem cronológica. Os resultados do aprimoramento dos critérios e da

O objetivo da correção filogenética é refinar os critérios de classificação e alcançar uma maior integração entre esses diferentes métodos de classificação utilizados pela filogenia. Para mais, ver, por exemplo, ROHLE, F. James. A comment on phylogenetic correction. *Evolution*, v. 60, no 7, p. 1509-1515, 2006.

coerência entre métodos de categorização e classificação das espécies se fizeram sentir, inclusive, sob o ponto de vista quantitativo. No século XVIII, Carlos Lineu já havia identificado, em sua classificação taxonômica, 4.236 espécies diferentes de animais (DOBZHANSKY, 1937, p. 3). Ao longo dos quase três séculos seguintes, o número de espécies de seres vivos identificadas e formalmente descritas aumentou exponencialmente. Atualmente, esse número é de cerca de 1,5 milhão de espécies diferentes, de todas as categorias, de bactérias aos vários tipos de organismos multicelulares (LARSEN; MILLER; RHODES, 2017). A classificação das espécies atual tem se mostrado detalhada o suficiente para agrupar essa grande diversidade de seres vivos na Terra, e, até mesmo, para acomodar uma projeção das espécies ainda não identificadas, cujas estimativas apontam que podem alcançar os 6 bilhões de tipos diferentes (LARSEN; MILLER; RHODES, 2017).

Diante desse conjunto de argumentos e fatos, podemos concluir que, na esteira da Síntese, categorizações cada vez mais coerentes, suportadas por ilustrações empíricas cada vez mais abundantes, reforçaram progressivamente a efetividade das representações da filogenia em sua tarefa de cobertura da lacuna do inapreensível, de ordens sobretudo temporal e epistemológica, do fenômeno evolutivo. Sob o ponto de vista da análise de causalidade, somos obrigados a fazer uma importante ressalva sobre o papel das representações da diversidade da vida na elucidação da causalidade evolucionista: seria difícil argumentar que um sistema classificatório desse tipo constitui uma fonte exaustiva de acesso ao conhecimento sobre as causas profundas da evolução e da diversidade dos seres vivos. A nosso juízo, as representações da filogenia podem ser entendidas como um instrumento operativo da *rationale* evolucionista, a serviço da investigação empírica e da elaboração de inferências sobre a dinâmica temporal dos fenômenos evolutivos. Elas são elaboradas com a finalidade, portanto, de tornar inteligível o “como” os seres vivos evoluem, com limitações nas evidências que podem oferecer em resposta ao “porquê” da causalidade evolucionista. No entanto, após os desenvolvimentos conceituais e contribuições metodológicas aportados pela Síntese, não hesitamos em reiterar que o uso, na prática científica, das classificações da diversidade da vida continuou a ratificar o entendimento enunciado por Thomas Huxley (1888, Lecture III), de que as inferências por elas permitidas têm, na ausência de melhor alternativa, valor cognitivo de evidência demonstrativa da ancestralidade comum e da evolução ao longo do tempo.

4.2 Mecanicização das causas e evolucionismo

Recapitulando brevemente o que discutimos no Capítulo 1, a racionalidade científica moderna e contemporânea foi forjada, sobretudo, em consonância com o desenvolvimento da física clássica que se precedeu a partir do século XVI. Essa racionalidade foi alicerçada, em linhas gerais, no modelo da causalidade mecânica e em uma epistemologia verificacionista. O modelo da causalidade mecânica representa, para as ciências empíricas, o principal recurso lógico para o estabelecimento de relações causais explicativas dos fenômenos do mundo material. A expressão epistemologia verificacionista, por sua vez, reúne sob uma denominação única um conjunto de recursos metodológicos que visam à verificação da efetividade empírica das relações causais estabelecidas na explicação dos fenômenos do mundo material.

A aplicação do modelo da causalidade mecânica nas ciências empíricas modernas recorre a, pelo menos, dois importantes instrumentos cognitivos. O primeiro desses instrumentos cognitivos envolve a descrição matemática, por meio de grandezas observáveis e mensuráveis, das regularidades que constituem a relação entre a causa e o efeito. Essa matematização da relação causal torna-nos inteligível a forma pela qual a causa se relaciona com o efeito em casos em que essa relação é mensurável diretamente, por observação, ou apreensível indiretamente, por meio de instrumentos auxiliares aos sentidos. Para apreender e explicar, ainda mais profundamente, o fenômeno causal, um segundo instrumento cognitivo a ser aplicado envolve a postulação do mecanismo de interação mecânica das causas que são responsáveis pela produção do efeito. Esses dois recursos cognitivos do modelo de causalidade mecânica foram incorporados, de forma definitiva, à metodologia das ciências, de tal sorte que a fundamentação da validade das teorias científicas empíricas modernas e contemporâneas apoia-se, em larga medida, em um ou em ambos os pilares. Já analisamos, no Capítulo 3, as contribuições da Síntese Evolutiva Moderna para a matematização dos conceitos evolucionistas. Chegou o momento de refletirmos sobre como os cientistas e pensadores da Síntese recorreram a modelos mecanicistas para sistematizar suas explicações sobre dois importantes conceitos: a variação populacional e a hereditariedade.

4.2.a Representações mecanicistas

Conforme discutimos no Capítulo 1, inspirados pela filosofia clássica de Demócrito, bem como pelas engrenagens e mecanismos criados por engenheiros e artífices da Itália da Renascença, cientistas e pensadores do período da Revolução Científica, na busca por respostas

sobre como a causa produz o efeito, estabelecem como princípio que os efeitos são produzidos por uma interação mecânica de suas causas (CROMBIE, 1953, chap IV; KOYRÉ, 1966; YAKIRA, 1994). A mecanização das causas viria a ser consolidada com René Descartes, que, segundo Abrantes (2016, p. 126):

[...] como um dos representantes mais consequentes da filosofia mecânica, rejeitou as causas finais aristotélicas, admitindo apenas causas eficientes do tipo mecânico. Daí a importância que adquirem as leis do choque em seu sistema: toda ação só pode ser uma ação contígua, um impulso, uma pressão, resultado, enfim, do contato físico entre os corpos materiais (ABRANTES, 2016, p. 126).

Quando Descartes enuncia o princípio da conservação do movimento, ele nos aporta, ainda, uma representação paradigmática de como ele via a produção mecânica do efeito pela causa: o modelo do choque das bolas de bilhar. Robert Boyle, por sua vez, foi responsável pela divulgação, no meio científico, dessa nova concepção de ciência: “Boyle chama de ‘filosofia mecânica’ a interpretação que ele dá aos sistemas filosóficos desenvolvidos por Descartes e Gassendi, com os seus pares da *Royal Society* levando à frente o uso do termo ‘mecânico’ para designar o programa ontológico da matéria em movimento” (DE SALLES ABREU, 2023, p. 61). Tendo esse contexto de desenvolvimento histórico em mente, podemos afirmar que o mecanicismo se consolidou, em definitivo, como um recurso primordial (embora não o único) para o estabelecimento das explicações causais no âmbito das ciências empíricas.

A definição que adotaremos de mecanismo, para nossos fins reflexivos, é tributária do pensamento mecanicista moderno, podendo ser assim enunciada: mecanismo é a sistematização do conjunto de entidades do mundo material que, organizadas espaço-temporalmente, são capazes de desempenhar um processo que produz, como efeito, o fenômeno que se quer explicar (GLENNAN, 1996; WESTFALL, 1978). Com essa definição, entendemos que a noção de mecanismo nos auxilia no entendimento das regularidades do mundo material, na medida em que permite uma estruturação do nosso pensamento sobre como entidades materiais se organizam e funcionam para produzir o efeito. Duas dimensões da relação espaço-temporal são destacadas nessa definição: (i) uma dimensão estática, que abarca os componentes constitutivos (matéria, forma, por exemplo) do sistema, e (ii) uma dimensão dinâmica, que abarca o conjunto de interações, de natureza mecânica (contato, pressão, por exemplo), entre esses componentes constitutivos. Como resultado, tem-se a transição processual de estados dos elementos constitutivos do sistema da causa até o efeito. Para nossos fins reflexivos, a transição de estados a que se faz referência considera as mudanças nas grandezas dos elementos constitutivos do sistema que são apreensíveis pelos sentidos (direta ou indiretamente), como massa, forma,

velocidade, etc., não sua dimensão ontológica (a essência). A perspectiva de nossa análise de como, no pensamento mecanicista, o ente causa produz o ente efeito é, portanto, epistemológica, não metafísica. Um mecanismo explicativo de um fenômeno constitui, portanto, um modelo representativo, com fins de investigação empírica, da relação de causalidade que se visa a estabelecer.

Em nossas reflexões sobre o mecanicismo, importa salientar que não devemos confundir a representação de explicações por modelos mecanicistas com a representação de explicações como máquinas. As máquinas fabricadas pelos seres humanos são, bem verdade, um exemplo de modelos mecanicistas. No entanto, elas configuram-se, em geral, como mecanismos simples ou simplificados:

máquinas são mecanismos que, via de regra, possuem poucas partes, todas elas com uma diferenciação funcional nítida, em uma estrutura de arquitetura modular, bem como uma organização com uma etiologia induzida externamente por um agente intencional que a projeta e constrói segundo um plano previamente concebido, impondo uma função normativa para a sua (boa) operação (GLENNAN, 2017: p. 136-137 apud DE SALLES ABREU, 2023, p. 49).

Ainda que o avanço tecnológico tenha permitido a construção de máquinas com numerosas partes, organizadas em estruturas cada vez mais imbricadas e capazes de desempenhar múltiplas funções, associar modelos mecanicistas a máquinas humanas, seja de forma direta e imediata ou de forma metafórica, implicaria um reducionismo que nos parece ser limitante do poder explicativo do pensamento mecanicista. Essa visão do pensamento mecanicista, limitada em escopo e restritiva em termos epistemológicos – muito mais comumente projetada de fora do que produzida por quem efetivamente recorre a esses modelos em suas explicações –, é deletéria para os estudos das contribuições desse tipo de modelo para as explicações científicas em geral e biológicas em particular. Em nossa análise, portanto, consideraremos que, embora os pensadores mecanicistas clássicos, e também muitos dos modernos, tenham muito frequentemente feito uso, por analogia e com fins de ilustração, da associação entre mecanismo e máquina, o pensamento mecanicista que embasa as ciências empíricas contemporâneas inclui, mas não se reduz, em todas as suas possibilidades lógicas e epistemológicas, à “metáfora da máquina”.

Sob a perspectiva dos mecanicistas clássicos, como os atomistas, De Salles Abreu (2023, p. 37) nos recorda que:

Os átomos são permanentes, imutáveis nas suas formas, indivisíveis; somente os agregados (macroscópicos, por assim dizer) sofrem mudança. Todas as referidas qualidades sensíveis, então, seriam explicadas em termos de nada mais do que

diferentes combinações possíveis entre átomos com formatos, tamanhos, ordem e posição variáveis” (DE SALLES ABREU, 2023, p. 37).

Os mecanicistas clássicos enfatizam, portanto, a dimensão estática e constitutiva dos componentes do sistema, relegando para um segundo plano de importância a transição processual que produz os efeitos (dimensão dinâmica da relação espaço-tempo). Ademais, os mecanicistas clássicos restringiam o tipo de interação entre as causas do sistema à ação por contato, capaz de produzir movimento (WESTFALL, 1978). Interações elétricas, eletromagnéticas, químicas, gravitacionais, entre outras, não foram consideradas nos modelos mecanicistas mais antigos, não por rejeição lógica, decerto, mas sobretudo pelo fato de serem relações ainda desconhecidas empiricamente. Os mecanicistas modernos equilibram a importância de ambas as dimensões, a estática e a dinâmica, da ideia de mecanismo (DE SALLES ABREU, 2023). Esse ajuste no pensamento mecanicista, que valoriza a importância do componente dinâmico dos sistemas representativos da realidade²⁴⁰, facilitaria o uso desse tipo de modelagem para a explicação dos fenômenos do mundo vivo, cuja mudança (transição processual) contínua é uma característica empiricamente constatada há longa data por naturalistas de campo e que viria a ser também experimentalmente comprovada com os estudos de genética da Síntese Evolutiva Moderna. Vejamos, então, como se procedeu o desenvolvimento do uso dos modelos mecanicistas desde Darwin até o período da Síntese Evolutiva Moderna que estamos estudando.

4.2.b Mecanismos na base da variação populacional e da hereditariedade

Ao final do Capítulo 2, em que introduzimos os principais conceitos da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, mencionamos como Darwin teria tentado recorrer à noção de “mecanismo” como estratégia cognitiva para fundamentar seus princípios gerais, mais particularmente o princípio da hereditariedade. Recordemos que Darwin havia enunciado os princípios de variação populacional e hereditariedade na *Origem das espécies*, porém ele não

²⁴⁰ O pensamento mecanicista moderno assume como uma de suas premissas epistemológicas mais importantes uma visão de realismo por meio da qual o ser humano seria inteiramente capaz de ter acesso e entender todas as relações causais existentes no mundo material. Não se pode negligenciar que uma visão de realidade que se pretenda única, inteiramente objetiva, atemporal e externa à mente humana ameaça excluir da reflexão críticas ceticistas à causalidade, como as de Hume, ou limitações de acesso ao conhecimento empírico sobre os fenômenos do mundo material, como as evidenciadas nos estudos quânticos. Deixaremos à margem essas ponderações mais gerais sobre o tipo de realismo que embasou o mecanicismo dos modernos, para não nos furtarmos de reconhecer um outro elemento que é central para a nossa análise: as contribuições dos modelos mecanicistas para a fundamentação das explicações evolucionistas.

foi capaz de, naquela obra, apresentar uma explicação consistente sobre como se procede a transmissão das variações herdáveis, conforme nos relembra Dobzhansky:

Sua própria teoria da seleção natural, ao apelar para duas ocorrências cujos detalhes eram bastante desconhecidos – a origem de novas variações em animais e plantas e a perpetuação destas pela hereditariedade – serviu como um grande estímulo e proporcionou grande parte da motivação para a pesquisa biológica no período que se seguiu a 1859. Naquela época, no entanto, não havia métodos confiáveis pelos quais esses dois problemas pudessem ser estudados. A história da genética desde a redescoberta dos princípios de Mendel, em 1900, é exatamente uma história do desenvolvimento desses métodos, e é possível agora fazer um balanço do que esses métodos têm feito para melhorar nossa compreensão do que tem sido, apesar de toda a pesquisa, um mistério tão grande - a origem das espécies²⁴¹ (DOBZHANSKY, 1937, Prefácio do Editor Leslie. C. Dunn).

Como também vimos, para tentar suprir essa lacuna explicativa sobre a hereditariedade, Darwin viria a insistir, nos anos posteriores à *Origem*, em sua Teoria da Pangênese. Nela, Darwin especula sobre a existência de um mecanismo que atribui a uma entidade denominada gêmulas o caráter de base material da transmissão intergeracional das características herdáveis. Ao justificar, em suas cartas aos amigos próximos, as razões de sua insistência na Teoria da Pangênese, Darwin nos deixa evidente sua necessidade de contar com um mecanismo para “positivar” o princípio de hereditariedade:

Quando você [Hooker] ou Huxley dizem que uma única célula de uma planta, ou o toco de um membro amputado, tem a “potencialidade” de reproduzir o todo ou de “difundir uma influência”, essas palavras não me dão uma ideia positiva; - mas quando é dito que as células de uma planta, ou toco, incluem átomos derivados de cada outra célula do organismo inteiro e capazes de desenvolvimento, eu obtenho uma ideia clara. Mas essa ideia não teria valor algum se se aplicasse a um caso apenas; mas parece-me aplicar-se a toda as formas de herança, de metamorfose, à transposição anormal de órgãos, à ação direta do elemento masculino sobre a planta-mãe, etc. Portanto, eu acredito plenamente que cada célula *realmente* elimina um átomo ou gêmula de seu conteúdo; - mas, quer se queira ou não, esta hipótese serve como um elo de ligação útil para várias grandes classes de fatos fisiológicos, que no momento estão absolutamente isolados (Darwin para Hooker, [1959], v. ii, p. 264 apud STANFORD, 2006, p. 127-128)²⁴².

²⁴¹ Traduzido de DOBZHANSKY, 1937, Editor's Preface Leslie C. Dunn: “*His own theory of natural selection, by appealing to two occurrences of which the details were quite unknown—the origin of new variations in animals and plants and the perpetuation of these by heredity—served as a great stimulus and provided much of the motivation for biological research in the period which followed 1859. There were at that time, however, no reliable methods by which these two problems could be studied. The history of genetics since the rediscovery of Mendel's principles in 1900 is a history of the development of just such methods, and it is possible now to take stock of what these methods have done to improve our understanding of what has been, in spite of all research, so great a mystery - the origin of species*”.

²⁴² Traduzido de Darwin to Hooker, in [1959] v. ii, p. 264. apud STANFORD, 2006, p. 127-128: “*When you [Hooker] or Huxley say that a single cell of a plant, or the stump of an amputated limb, have the 'potentiality' of reproducing the whole- or 'diffuse an influence,' these words give me no positive idea; -but when it is said that the cells of a plant, or stump, include atoms derived from every other cell of the whole organism and capable of development, I gain a distinct idea. idea. But this idea would not be worth a rush, if it applied to one case alone; but it seems to me to apply to all the inheritance – metamorphosis – to the abnormal transposition of organs – to*

Conforme enfatizamos em diversos momentos ao longo deste trabalho, a noção de mecanismo é de crucial relevância para a elaboração de explicações causais válidas e efetivas nas ciências. Darwin, como nos demonstra sua tentativa com o mecanismo das gêmulas, decerto não negligenciava a importância dessa estratégia cognitiva. Merece nossa atenção, também, o fato de que, a nossos olhos, ele aplicou o mecanicismo, na Teoria da Pangênese, por uma via dedutivista sobre a qual gostaríamos de discorrer um pouco mais, pois consideramos ser esse um aspecto que pode nos auxiliar a compreender em maior profundidade o desenvolvimento epistemológico dos conceitos de variação populacional e hereditariedade.

Para começarmos essa discussão, necessitaremos recuperar, em termos mais precisos, um aspecto de nosso entendimento sobre o evolucionismo darwiniano. A nosso juízo, o bom entendimento da fundamentação da validade da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, conforme apresentada por Darwin na *Origem das espécies*, não pode ser alcançado sem que nos dediquemos a percorrer também a via racionalista que o auxiliou na elaboração deles. Isso porque entendemos que não podemos negligenciar que essa teoria foi construída tendo como pilares estruturantes princípios, com valor cognitivo de lei, que foram alcançados com auxílio de extenso raciocínio hipotético-dedutivo. Ao enfatizar o componente racionalista da teoria darwiniana, não negamos, evidentemente, que a experiência sensível tenha servido de inspiração e referência inicial para os insights de Darwin sobre esses princípios (também para Wallace, no caso do princípio de seleção natural). As inferências com uso da arborização da diversidade das espécies pela filogenia, da analogia com a seleção artificial de animais e plantas e de analogias com as relações humanas descritas pela economia são exemplos dessa inspiração empírica, conforme destacamos previamente. No entanto, a nosso juízo, na teoria de Darwin, a experiência sensível ganhará ainda maior relevância como fonte de ilustrações empíricas, a serem utilizadas como evidências para corroborar as hipóteses generalizantes deduzidas racionalmente e assumidas como evidentes. O desenvolvimento conceitual posterior a publicação da teoria de Darwin nos permite constatar que, na trajetória de construção do valor cognitivo dos princípios de ancestralidade comum, evolução, variação, hereditariedade, seleção natural e adaptação, esses conceitos precisaram ser assumidos como hipóteses válidas, cabendo aos naturalistas, entre eles o próprio Darwin, buscar, *a posteriori*, evidências empíricas para demonstrá-los.

*the direct action of the male element on the mother, etc. I fully believe that each cell does **actually** throw off an atom or gemule of its contents; - but whether or not, this hypothesis serve as a useful connecting link for various grand classes of physiological facts, which at present stand absolutely isolated”.*

Tendo esse contexto em mente, entendemos que, ao especular, sem bases empíricas suficientes, que o mecanismo das gêmulas na Teoria da Pangênese seria efetivo na descrição do funcionamento do fenômeno da hereditariedade, Darwin transferiu a seus sucessores uma tarefa de demonstração empírica mais extensa que aquela que ele lhes havia transferido com as hipóteses em torno dos demais conceitos evolucionistas. Com efeito, essa demonstração nunca foi alcançada, e, como resultado, o mecanismo proposto por ele com a Teoria da Pangênese não vingou – as grandes mentes também erram em suas especulações. Essa busca por demonstração para o mecanismo da Pangênese, no entanto, produziu efeitos positivos para as ciências biológicas no longo prazo – decerto não esperados por Darwin –, afinal “foi a hipótese mais concreta e mais claramente mecanicista de pangênese de Darwin que exerceria uma influência maior sobre o pensamento subsequente sobre geração e herança, e que teóricos posteriores sentiriam a obrigação de confrontar e discutir, mesmo que apenas para criticar²⁴³” (STANFORD, 2006, p. 125). Ao longo do tempo, portanto, a abordagem mecanicista da transmissão das variações herdáveis prosperará. Ainda que a explicação mecanicista não signifique, imediata e necessariamente, explicação verdadeira, os evolucionistas da Síntese Evolutiva Moderna não hesitarão em reconhecer que as ciências, em geral, e as explicações evolucionistas, em particular, não podem prescindir dessa estratégia cognitiva em sua busca pelo entendimento dos fenômenos do mundo material:

A presente discussão tratou do problema da evolução como algo que depende inteiramente de mecanismo e do acaso. [...] Pode-se reconhecer que a única realidade diretamente experimentada é a da mente, incluindo a escolha; que mecanismo é meramente um termo para comportamento regular; e que não pode haver uma explicação última em termos de mecanismo — apenas uma descrição analítica. Tal descrição, no entanto, é a tarefa essencial da ciência²⁴⁴ (WRIGHT, 1931, p. 154).

Dos seis princípios evolucionistas sobre os quais temos concentrado maior parte de nossas reflexões neste trabalho – ancestralidade comum, evolução, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação – dois deles, pelo menos, beneficiaram-se diretamente de modelos mecanicistas sistematizados pelos cientistas e pensadores da Síntese: variação populacional e hereditariedade. Há diversos mecanismos descritos pela genética que ajudam a fundamentar esses conceitos. Recuperaremos, com objetivo ilustrativo, sem

²⁴³ Traduzido de STANFORD, 2006, p. 125: “[...] it was Darwin's more concrete and more clearly mechanistic hypothesis of pangenesis which would exercise a greater influence on subsequent theorizing about generation and inheritance and which later theorists would feel obliged to confront and discuss, even if only to abuse”.

²⁴⁴ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 154: “The present discussion has dealt with the problem of evolution as one depending wholly on mechanism and chance [...]. One may recognize that the only reality directly experienced is that of mind, including choice, that mechanism is merely a term for regular behavior, and that there can be no ultimate explanation in terms of mechanism—merely an analytic description. Such a description, however, is the essential task of science”.

pretensões exaustivas, os mecanismos de mutações genéticas e de meiose que fundamentam o princípio de variação populacional e o mecanismo de transcrição gênica que fundamenta o princípio de hereditariedade. Antes de avançarmos, nunca é demais recordar algo importante a esse respeito: como Darwin não apresentou bases materiais mecanicistas para os princípios de variação populacional e hereditariedade, devemos associar o desenvolvimento conceitual que deu origem a esses mecanismos ao pilar teórico da genética mendeliana e a biologia molecular na esteira dele desenvolvida.

Conforme discutimos no Capítulo 3, mutação significa o processo de iniciação de qualquer nova variação herdável. A partir da Síntese Evolutiva Moderna, portanto, as mutações são assumidas como sendo responsáveis por manter o estoque de variação dos organismos dentro de uma população, estoque este que servirá de fonte para as mudanças evolutivas das espécies (FISHER, 1930, p. 48). Adicionalmente, a Síntese associou ao conceito de mutação uma base material, de localização intracelular, passando as unidades conceituais carreadoras da informação hereditária entre as células a serem chamadas de genes. Quando o conceito de mutação se consolidou com a Síntese, ainda não se havia descoberto a natureza química dos genes. Já havia, contudo, evidências empíricas consistentes o suficiente para associar a localização dos genes aos "corpos de coloração escura ou cromossomos que podem ser vistos nos núcleos das células em certos estágios da divisão celular"²⁴⁵ (FISHER, 1930, p. 9). Os estudos experimentais da transmissão dos cromossomos entre gerações confirmaram a noção de segregação independente dos genes que fundamenta o modelo de *particulate inheritance* proposto pela genética mendeliana. Ademais de as mutações serem um mecanismo causal necessário para a explicação da origem da variação das populações, estudos genéticos demonstraram terem elas um caráter fortuito, aleatório: “nenhuma correlação foi encontrada entre as condições externas e a direção da mutação, e os poucos agentes que foram identificados como capazes de afetar a taxa (raios-X, rádio e, em uma medida relativamente pouco importante, temperatura) apenas aceleram a taxa de mutação aleatória” (WRIGHT, 1931, p. 142).

Ao mesmo tempo, no que tange à frequência das mutações, o acúmulo de evidências já alcançado durante o período da Síntese atestava que a recombinação sistemática de genes durante a meiose da reprodução sexuada seria um mecanismo essencial para promoção da variação populacional em plantas e animais (FISHER, 1930). A recombinação sistemática de

²⁴⁵ Traduzido de FISHER, 1930, p. 9: “with the dark-staining bodies or chromosomes which are to be seen in the nuclei of cells at certain stages of cell division”.

genes durante a meiose procede-se, entre outros mecanismos, por *crossing-over*, uma mistura de partes do material genético materno e paterno, contido em cromossomos, que resulta na alocação aleatória, nos descendentes, de apenas metade dos cromossomos de cada um dos genitores. Por meio desse sistema de mecanismos, pequenas e múltiplas alterações gênicas, que ocorrem pontualmente em indivíduos de uma espécie, são difundidas gradualmente na população, promovendo uma reestruturação no pool gênico populacional (WRIGHT, 1931, p. 127). Dada a eficiência do mecanismo de recombinação genética da reprodução sexuada no espalhamento da variação e da ausência de diluição significativa das novas características com a transmissão da hereditariedade via modelo de *particulate inheritance*, a origem da variação herdável passou a ter, com a Síntese, portanto, suas bases materiais explicadas pelos mecanismos que produzem mutações mínimas e pouco frequentes no material genético, que são gradualmente espalhadas por mecanismos que promovem recombinação e deriva populacional dessas alterações gênicas (como a meiose). Quando, em 1944, Oswald Avery propôs que os genes seriam constituídos, quimicamente, de um tipo específico de ácido nucleico, o ácido desoxirribonucleico (DNA), e, em 1953, James Watson e Francis Crick propuseram o modelo químico de dupla-hélice para a estrutura do DNA (MORANGE, 2016, p. 269-270), os mecanismos de produção de mutações e recombinação genética, que fundamentam a variação populacional, puderam ser sistematizados, espaço-temporalmente e quimicamente, em ainda maior nível de detalhes.

Outras evidências oriundas da genética molecular – que viriam a ser conhecidas após o período da Síntese que é objeto de nossa reflexão, mas que fazem parte, porém, do conjunto de desenvolvimentos conceituais associados a esse movimento intelectual – permitiram estabelecer as bases do mecanismo de transmissão das variações herdáveis entre as gerações. Com os estudos sobre a hereditariedade ao nível molecular, foi possível sistematizar os mecanismos de transcrição e de tradução da informação genética em moléculas estruturantes dos organismos. As moléculas presentes nos sistemas vivos foram categorizadas de acordo com as funções que envolvidas nesses mecanismos. Podemos, de forma muito simplificada e para fins meramente ilustrativos, tentar sintetizar, com auxílio de Zuckerkandl e Pauling (1965, p. 357-358), esses processos: moléculas que carregam a informação genética (DNA e RNA), serão “transcritas” em moléculas de RNA-mensageiro, que, por sua vez, intermedeiam o processo de “tradução” da informação herdável em polipeptídeos (ou outras moléculas sintetizadas pelos organismos). Omitimos, nesse resumo das etapas da transcrição e da tradução das informações genéticas, por evidente, os imbrincados detalhes desses dois mecanismos, para o que contamos

(e do que somos gratos) com o espírito de tolerância do leitor, sobretudo dos geneticistas. Para o nosso argumento, importa-nos saber apenas que, nesses mecanismos, as moléculas componentes dos sistemas estão organizadas espaço-temporalmente e, em suas interações físicas, são responsáveis pelos processos (transições de estado) capazes de produzir o efeito do fenômeno que buscamos entender, a transmissão intergeracional das variações herdáveis. Logo, esses dois mecanismos fundamentam, sob bases causais mecânicas, o princípio da hereditariedade.

Nem todos os principais conceitos evolucionistas tiveram suas causas representadas, pelos cientistas e pensadores da Síntese, por meio de modelos mecanicistas. Os princípios de variação populacional e hereditariedade são, de fato, os que mais se beneficiaram dessa abordagem. Como temos visto ao longo do texto, a mecanização das causas não é, no entanto, o único caminho intelectual possível para a fundamentação dos conceitos evolucionistas. A ancestralidade comum e a evolução encontram sólidos fundamentos nas refinadas representações da filogenia da diversidade da vida, ao tempo em que os princípios de seleção natural e adaptação foram matematizados pelos hábeis estatísticos da Síntese. Entendemos, contudo, que a busca por mecanismos representativos dos fenômenos evolutivos deve permanecer, contínua e perenemente, no horizonte de pesquisa de cientistas e no horizonte de reflexão de filósofos da ciência, dado o potencial de ampliação do valor cognitivo que esse instrumento cognitivo pode adicionar a qualquer princípio ou hipótese científica. E há muito terreno fértil a ser explorado nessa direção. Em suas reflexões sobre o evolucionismo, Dobzhansky assim chama nossa atenção para as lacunas de conhecimento – ainda existentes atualmente, importa frisar – sobre os possíveis mecanismos causais explicativos dos fenômenos evolutivos:

Deixe-me tentar deixar bem claro o que está estabelecido além de qualquer dúvida razoável e o que precisa de um estudo mais aprofundado sobre a evolução. A evolução como um processo que sempre ocorreu na história da Terra pode ser duvidada apenas por aqueles que são ignorantes das evidências ou são resistentes às evidências, devido a bloqueios emocionais ou ao puro fanatismo. Em contraste, os mecanismos que trazem a evolução certamente precisam de estudo e esclarecimento. Não há alternativas para a evolução como história que possa resistir a um exame crítico. No entanto, estamos constantemente aprendendo fatos novos e importantes sobre os mecanismos evolutivos²⁴⁶ (DOBZHANSKY, 1973, p. 129).

²⁴⁶ Traduzido de DOBZHANSKY, 1973, p. 129: “*Let me try to make crystal clear what is established beyond reasonable doubt, and what needs further study, about evolution. Evolution as a process that has always gone on in the history of the earth can be doubted only by those who are ignorant of the evidence or are resistant to evidence, owing to emotional blocks or to plain bigotry. By contrast, the mechanisms that bring evolution about certainly need study and clarification. There are no alternatives to evolution as history that can withstand critical examination. Yet we are constantly learning new and important facts about evolutionary mechanisms*”.

Mesmo que tenham restado – e ainda restem – lacunas nas explicações mecanicistas após a Síntese Evolutiva Moderna, as contribuições da abordagem mecanicista por ela enfatizada para a validação dos conceitos de variação populacional e hereditariedade, e para explicação evolucionista como um todo, são evidentes. Ao longo da história do desenvolvimento conceitual do evolucionismo, a história natural – a atividade de descrição dos fenômenos do mundo material como uma narrativa – foi o recurso cognitivo primordial para a elaboração de conceitos generalizantes pelos naturalistas. Os princípios da ancestralidade comum e da seleção natural são exemplos consistentes de generalizações enunciadas por essa via. A história natural tem, sob o ponto de vista da finalidade da investigação empírica, fins descritivos, mas sem comprometimento com um objetivo explicativo causal (ABRANTES, 2016, p. 23). O mecanicismo, por sua vez, permite a formulação de modelos abstratos representativos de relações causais apreensíveis. Sob o ponto de vista da finalidade da investigação empírica, o mecanicismo tem, portanto, fins explicativos causais, característica que interessa sobremaneira para o objeto de nossa reflexão neste trabalho. O enraizamento, por meio da genética, do mecanicismo na rede conceitual do evolucionismo significa, portanto, uma extensão da abrangência das explicações evolucionistas: passa a ser parte do escopo da teoria não apenas o objetivo de descrição da diversidade e do percurso evolutivo das espécies, mas também a busca das causas que produzem essa diversidade e essa mudança ao longo do tempo. Rejeitar esse mecanicismo aportado ao evolucionismo pela Síntese Evolutiva Moderna – cujos atributos epistemológicos agregam evidente valor cognitivo – em nome de uma discussão metafísica sobre um possível reducionismo das ciências biológicas às ciências físicas nos parece uma atitude contraproducente para os objetivos de investigação empírica. Com efeito, a miopia de alguns evolucionistas que viam (e alguns que ainda veem) o mecanicismo com os óculos da metafísica reducionista não parece ter impedido o desenvolvimento do uso dessa estratégia no evolucionismo, como podemos constatar nas recentes contribuições à Síntese Evolutiva Estendida procedidas pela corrente de pensamento intitulada Novo Mecanicismo²⁴⁷.

²⁴⁷ Sobre o Novo Mecanicismo, ver, por exemplo, BRAILLARD; MALATERRE; BAETU, 2015; GLENNEAN, 1996; MACHAMER; DARDEN; CRAVER, 2000; WALSH; LEWENS; ARIEW, 2002. Ver, também, uma extensiva e bem realizada revisão das origens e características dessa corrente de pensamento na tese de DE SALLES ABREU, 2023.

4.3 As bases nomológicas das explicações evolucionistas

Sob o ponto de vista epistemológico, a razão é a ferramenta intelectual que nos permite apreender, em meio ao caos aparente de nossos sentidos, regularidades, padrões, constâncias e permanências existentes nos fenômenos do mundo material (CREATH, 2023). Na racionalidade científica, essas regularidades podem assumir o valor cognitivo de princípios, leis ou outros conceitos generalizantes que buscam explicar situações estáticas, movimentos ou transformações do mundo material. Essas regularidades podem ser representadas, também, por modelos – sistemas representativos que relacionam princípios, leis e outros conceitos entre si, e que incluem, muito frequentemente, suas relações com entes materiais, como no caso dos sistemas mecanicistas que discutimos na seção anterior. Os conceitos que expressam regularidades variam, em suas formulações, quanto à presença e à proporção de componentes teórico-abstratos e lógicos (componentes racionalistas definidos *a priori* ou deduzidos) e de componentes de relações causais empiricamente inferidas (componentes empiristas induzidos *a posteriori* da experiência sensível).

Uma forma de expressão particular dessas regularidades é de suma importância para as ciências modernas, aquela sob a forma de “leis da natureza”, conforme discutimos no Capítulo 1. Recordamos que pensadores como René Descartes defenderam a ideia da existência de “princípios físicos básicos”, que assumiriam um valor cognitivo de leis da natureza ou leis universais, a balizar o funcionamento dos fenômenos do mundo material (DESCARTES, 2020). Sob a perspectiva kantiana (KANT, 1905), as leis naturais estruturam nosso contato com o mundo sensível ao expressarem relações causais fundamentais, causalidade esta que é uma faculdade mental relacional que integra as doze categorias do entendimento humano. Diferentemente de enunciados generalizantes que expressam conjunções temporárias, ocasionais ou contexto-específicas de eventos, as leis naturais asseguram uma conexão necessária e universal entre causa e efeito, tendo como retaguarda uma teoria sistêmica na qual se inserem (CARROLL, 2024)²⁴⁸. A afirmação que precede enseja, de imediato, o questionamento sobre qual é a dimensão da “necessidade” a que nos referimos quando falamos da conexão entre causa e efeito, se seria uma necessidade no nível epistemológico ou ontológico (metafísico) dos eventos. Nessa discussão, assumimos as leis naturais como sendo uma ferramenta do entendimento humano necessária à apreensão dos fenômenos do mundo material.

²⁴⁸ Para discussão mais aprofundada sobre o que diferencia as leis naturais de outras generalizações, sob a perspectiva de sistemas dedutivos, ver Lewis, D. *Counterfactuals*. Cambridge: Harvard University Press, 1973. Sob a perspectiva dos sistemas universais, ver Armstrong, D. *What Is a Law of Nature?* Cambridge: Cambridge University Press, 1983. Para uma revisão mais ampla sobre o assunto, ver CARROLL, 2024.

A conexão necessária a que nos referimos, portanto, não se encontraria na essência desses eventos (perspectiva metafísica), pois isso poderia implicar um determinismo radical na ocorrência de todos os fenômenos do mundo material. Entendemos que a necessidade prevista nas leis naturais das ciências modernas situa-se, logo, na dimensão do nosso acesso ao conhecimento (dimensão epistemológica). A nosso juízo, portanto, o governo exercido pelas leis se manifesta em nossos sentidos, o que dispensa a necessidade de considerarmos o que seria a "real" essência constitutiva dos entes envolvidos nas regularidades identificadas²⁴⁹.

Entendemos leis como proposições sobre regularidades com poder explicativo causal. Nesse sentido, as leis da natureza, na medida em que enunciam as regras de funcionamento gerais do mundo material, impõem, necessariamente, limites a serem respeitados no estabelecimento de relações causais que explicam os fenômenos do mundo material. Leis que descrevem regularidades particulares devem, por sua vez, conformarem-se às leis universais, configurando um sistema normativo (na dimensão do acesso ao conhecimento, vale frisar) hierárquico de organização das regularidades (CARROLL, 2024). Conforme salientamos no Capítulo 2, a *Origem das espécies* configura-se, a nosso juízo, num verdadeiro tratado normativo, que reúne um conjunto de leis por Darwin associadas aos fenômenos evolutivos, hierarquicamente organizadas e conectadas entre si. No topo dessa hierarquia legal, estão os pilares axiológicos do evolucionismo: princípio da ancestralidade comum e princípio da mudança ao longo do tempo. Logo abaixo deles, estão os quatro outros princípios gerais da Teoria da Evolução por Seleção Natural: princípio da variação populacional, princípio da hereditariedade, princípio da seleção natural e princípio da adaptação. Abaixo desses seis conceitos-chave com que estamos trabalhando (ver Quadro 4), Darwin ainda enuncia, na *Origem das espécies* (DARWIN, 2018), uma série de outras leis que balizam fenômenos particulares: “leis de correlação de crescimento” (p.54); “lei geral da natureza que nenhum ser orgânico se fertiliza a si mesmo por uma eternidade de gerações” (p.162); “leis de unidade de tipo e de condições de existência” (p. 292); “lei da sucessão de tipos” (p. 453); “leis que governam a esterilidade dos primeiros cruzamentos entre espécies e dos híbridos resultantes” (p. 353); “leis de susceptibilidade das árvores aos enxertos” (p. 363). Darwin também reconheceu a validade de leis postuladas por outros naturalistas: “lei do uso e desuso e da influência direta das condições de vida” (p.609); “leis da embriologia” (p.56), como a “lei da semelhança embrionária comum” (p.578); “leis da paleontologia” (p. 460); “lei da reversão”

²⁴⁹ Acreditamos que a perspectiva epistemológica de análise das leis naturais que aqui adotamos é capaz de também acomodar, em larga medida, as críticas céticas de David Hume (2013) e sucessores sobre o assunto.

(p.281); “lei de compensação ou balanço do crescimento”, de Geoffroy Saint-Hilaire e Goethe (p.222). Todo conjunto normativo das leis que regem o fenômeno evolutivo está, para Darwin, em conformidade com as “leis da vida” (p.539) e as “leis gerais que governam o reino animal como um todo” (p. 433).

Ratificamos, por entendermos ser oportuno neste momento, que, sob nossa perspectiva de análise, as leis naturais não são princípios que determinam as relações ontológicas entre os entes em um mundo material cuja dinâmica dos fenômenos seria determinística e inexorável, mas sim instrumentos cognitivos que tornam a nós compreensíveis os fenômenos dinâmicos dos quais esses entes participam. Sentimos a necessidade de sermos redundantes ao repetir o que havíamos acabado de enunciar apenas alguns parágrafos acima, porque estamos cientes de que, na segunda metade do século XX, nos trabalhos de alguns teóricos da Síntese, como é o caso de Ernst Mayr (1982), a discussão sobre a importância das leis nas ciências biológicas transborda para uma reflexão sobre um reducionismo às leis da física, de base sobretudo metafísica. Mayr, com efeito, atribui ao “risco” de reducionismo uma importância que consideramos excessiva. Nosso entendimento de que Darwin aquiescia com a ideia de que as leis biológicas se conformam com o conjunto de regularidades que balizam os fenômenos do mundo material em geral (o que inclui, por óbvio, as leis da física) não significa afirmar que Darwin era reducionista em todas as perspectivas possíveis do termo. Não significa dizer, por exemplo, que Darwin concordava com um reducionismo do tipo analítico (MAYR, 1982, p. 61), que postula que o funcionamento de um organismo como um todo pode ser completamente explicado pela compreensão do funcionamento de suas partes, ou com um reducionismo do tipo teórico, que postula que teorias e leis formuladas em um campo da ciência, como as ciências biológicas, seriam casos especiais de teorias e leis formuladas em algum outro ramo da ciência, no caso, as ciências físicas (MAYR, 1982, p.62). O próprio Darwin, em obra posterior a *Origem*, nos atesta sua consciência sobre as limitações existentes no governo das leis:

Se se jogar um punhado de folhas para o alto, todas cairão ao chão de acordo com leis definidas; mas quão simples não é esse problema, comparado à ação e reação de inumeráveis plantas e animais que determinaram, ao longo dos séculos, o número proporcional de espécies de árvores que hoje crescem nas ruínas indígenas” (DARWIN, 1872, p. 135).

Nosso foco, ao longo deste trabalho, tem sido privilegiar as discussões de ordem epistemológica, que contribuam para os fins de investigação científica. Sob essa perspectiva, interessa-nos, portanto, apenas os casos em que reduções na hierarquia das leis, se possíveis, nos auxiliem a melhor alcançar conhecimento sobre o mundo empírico. O inquérito sobre quais

são as filiações metafísicas de Darwin e de outros cientistas e pensadores, *vis à vis* as diferentes categorias criadas para o reducionismo (sob um viés, por vezes, sectarista), não se faz, portanto, necessário em nossa reflexão.

4.3.a Evolução, causalidade probabilística e equilíbrio inovação-conservação

Nas ciências físicas, as relações de causalidade cujas leis almejam descrever são matematicamente quantificáveis na maioria dos sistemas cujo funcionamento se pretende compreender. Nesse sentido, os modelos matemáticos elaborados para descrever as regularidades do mundo material respondem ao pré-requisito epistemológico de que todo efeito tem uma causa. A consequência dessa rede de relações conceituais é que, nas ciências físicas, a causalidade mecânica, com apoio da matemática, oferece um modelo de explicação atemporal, que permite que leis inferidas a partir de casos particulares sejam generalizadas e adquiram um caráter normativo para fenômenos – passados, presentes e futuros – do mesmo tipo, por vezes com abrangência universal (HEMPEL, 1966). A essa altura de nossa reflexão, nos é confortável afirmar que existem regularidades nos fenômenos biológicos que aproximam a estrutura formal da causalidade na biologia desse modelo naturalístico-nomológico das ciências físicas que viemos de descrever. Adicionalmente, como vimos no Capítulo 3, desde a Síntese Evolutiva Moderna, a linguagem matemática permeia a fundamentação dos conceitos evolucionistas, sobretudo dos princípios de variação populacional, seleção natural e adaptação. Os princípios da causalidade mecânica e a noção de leis naturais possuem, no entanto, características especiais quando aplicados às ciências biológicas. Com efeito, o estatuto de leis nas ciências biológicas não é tema pacífico. Filósofos como John Smart (2014), por exemplo, rejeitam a existência de leis naturais em biologia nos moldes das leis da física e da química, defendendo o caráter contingente das regularidades no mundo vivo. Nosso entendimento é diferente. Assim como Michael Ruse (1970), Pablo Lorenzano (2006), entre outros, nós consideramos que os enunciados generalizantes em biologia reúnem os critérios²⁵⁰ que nos permitem classificá-los como leis naturais, embora com caráter especial, dada a existência de algumas diferenças na abrangência explicativa, no valor preditivo e em outros valores cognitivos. Analisaremos algumas dessas diferenças, particularmente àquelas relacionadas aos desenvolvimentos conceituais que a Síntese Evolutiva Moderna aportou à causalidade evolucionista, a saber: o distanciamento do presumido determinismo do qual explicações

²⁵⁰ Ver CARROLL, 2024.

fundadas em leis padeceriam e a noção de equilíbrio de fatores causais com efeitos opostos na produção do fenômeno evolutivo.

Em um primeiro aspecto, durante a Síntese, o desenvolvimento conceitual aportado pela matematização de alguns princípios evolucionistas, por meio de métodos estatísticos apurados, implicou um distanciamento evidente de uma concepção de causalidade mecânica determinística, em direção a uma concepção de causalidade probabilística. A expressão da (i) variação populacional das características mensuráveis em termos de valores médios, por meio de curvas de distribuição estatística de frequências, (ii) das chances genéricas de sobrevivência das espécies ao longo da vida como probabilidades específicas de morte dentro de um determinado período de tempo, (iii) da adaptação com auxílio de uma lógica de conformidade entre formas geométricas, assim como o reconhecimento (iv) da ocorrência de fenômenos estocásticos, como as mutações, e (v) das múltiplas possibilidades de formas fenotípicas dos organismos, abertas pela plasticidade da expressão dos genes em resposta às influências ambientais, estão entre os desenvolvimentos conceituais que tornam dificilmente validáveis derivas reducionistas e determinísticas nas teorias evolucionistas dos mais radicais dos fisicalistas. As múltiplas (infinitas) possibilidades combinatórias, que são corolário das conclusões elaboradas com base nesses conceitos, reduzem o grau de determinismo de explicações evolucionistas com componentes mecanicistas e fundamentadas em leis (ABRAMS, 2018). A latitude dessas incomensuráveis possibilidades permitiria a “fuga”, sob o ponto de vista lógico, do determinismo biológico e explicaria o “grau de liberdade” evidenciado, sob o ponto de vista empírico, na observação dos fenômenos biológicos. Os pensadores da Síntese reconheciam a importância de pensar a causalidade sob a perspectiva probabilística:

Qualquer incompletude envolvida na análise científica aplica-se tanto aos problemas mais simples da mecânica quanto à evolução. Ela está presente de forma mais agravada, talvez, no desenvolvimento e no comportamento dos organismos individuais, mas mesmo aqui não parece haver um limite necessário (excetuando-se os fenômenos quânticos) para o grau ao qual a análise mecanicista pode ser levada. Um organismo parece ser um sistema, conectado de tal forma, por meio de cadeias de mecanismos de disparo, que um alto grau de liberdade de comportamento como um todo requer apenas desvios da regularidade de comportamento entre as partes mais fundamentais, da ordem de infinitesimais elevados a potências tão altas quanto o comprimento dessas cadeias. Essa visão implica limitações consideráveis nas fases sintéticas da ciência, mas, de qualquer forma, parece ter-se chegado ao ponto de demonstração, no campo da física quântica, de que a previsão só pode ser expressa

em termos de probabilidades, que diminuem com o tempo²⁵¹ (WRIGHT, 1931, p. 154).

O distanciamento das leis biológicas da noção de determinismo não implica o esvaziamento de todo o valor preditivo de teorias biológicas formuladas com base em leis. O valor preditivo futuro é um dos valores cognitivos que podem ser utilizados pelos filósofos da ciência e cientistas no processo de validação de conceitos e teorias científicas (ABRANTES, 2016, p. 16). Sob uma lógica de causalidade probabilística, permanecemos sendo capazes de fazer generalizações a partir dos casos particulares. Se permanecemos capazes de fazer generalizações, permanece presente a possibilidade de fazer previsões futuras. Alguns evolucionistas (por exemplo, MAYR 1982) discordam dessa possibilidade, sob o argumento de que os sistemas biológicos seriam muito mais “complexos²⁵²” que os simples sistemas físicos. Sob a perspectiva que defendemos, valor preditivo pode ser assegurado a teorias fundadas em leis biológicas, sobretudo às leis genéticas (LORENZANO, 2006), desde que as previsões sejam expressas não como resultados determinados, mas sob a forma de probabilidades.

A análise da causalidade evolucionista sob uma perspectiva probabilística permite, ainda, incorporar múltiplos entes causais na cadeia de relações que produz um efeito, o que se configura, decerto, em um elemento facilitador, sob o ponto de vista lógico, para a fundamentação de explicações para os fenômenos biológicos. Notamos que, com a Síntese Evolutiva Moderna, a formulação teórica dessas relações multicausais probabilísticas procedeu-se com auxílio de uma estratégia cuja *rationale* tentaremos aqui sumarizar com a ideia

²⁵¹ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 154: “Whatever incompleteness is involved in scientific analysis applies to the simplest problems of mechanics as well as to evolution. It is present in most aggravated form, perhaps, in the development and behavior of individual organisms, but even here there seems to be no necessary limit (short of quantum phenomena) to the extent to which mechanistic analysis may be carried. An organism appears to be a system, linked up in such a way, through chains of trigger mechanisms, that a high degree of freedom of behavior as a whole merely requires departures from regularity of behavior among the ultimate parts, of the order of infinitesimals raised to powers as high as the lengths of the above chains. This view implies considerable limitations in the synthetic phases of science, but in any case it seems to have reached the point of demonstration in the field of quantum physics that prediction can be expressed only in terms of probabilities, decreasing with the period of time”.

²⁵² A referência à “maior complexidade inerente” dos sistemas vivos é uma noção tão difundida quanto imprecisa. A palavra “complexidade” faculta uma gama de interpretações tão grande sobre a que dimensão se estaria fazendo referência que, a nosso juízo, torna quase impossível ao leitor ou interlocutor compreender quais seriam as dificuldades atribuídas como “inerentes” aos sistemas vivos. O argumento da “maior complexidade inerente dos sistemas vivos” nos parece ser usado, também, por vezes, como subterfúgio para não explicitar o desconhecimento ainda existentes sobre os fenômenos evolutivos e eximir-se de buscar apresentar explicações, sobretudo causais, para eles. Ao longo do nosso texto, esse argumento da “complexidade inerente” será mencionado quando tiver sido utilizado por biólogos ou filósofos para fundamentar suas teses. No entanto, nós optamos por não recorrer a ele, em nenhum momento, para fundamentar nossas próprias reflexões.

de um "equilíbrio inovação-conservação". Adentremos nessa reflexão com um exemplo de uso dessa estratégia por Wright:

A evolução, como um processo de mudança cumulativa, depende de um equilíbrio adequado das condições que, em cada nível de organização — gene, cromossomo, célula, indivíduo, raça local — favorecem a homogeneidade genética ou a heterogeneidade genética da espécie. Enquanto o fator básico de mudança — as mutações genéticas fortuitas, infrequentes e geralmente mais ou menos prejudiciais — parece, por si só fornecer uma base inadequada para a evolução, o mecanismo de divisão celular, com suas eventuais aberrações, e o da fusão nuclear (na fertilização), seguido em algum momento pela redução, tornam possível que um número relativamente pequeno de mutações não tão prejudiciais proporcione um campo extenso de variações reais²⁵³ (WRIGHT, 1931, p. 157).

No encadeamento lógico do argumento de Wright, podemos notar que a plasticidade da variação populacional é entendida como um mecanismo de equilíbrio entre forças promotoras de novas associações gênicas e, conseqüentemente, promotoras da variação individual (inovação), a exemplo da recombinação de alelos, com forças conservadoras das antigas associações gênicas e, conseqüentemente, restritivas da variação individual (conservação), a exemplo da agregação de genes em cromossomos e o *linkage*. O estado de equilíbrio entre causas que são favoráveis e causas contrárias à inovação, ou, inversamente, causas favoráveis e contrárias à conservação das características populacionais, seria alcançado em um nível intermediário do espectro conservação-inovação:

Linkage completo reduz a variabilidade ao impedir a recombinação. Rearranjos totalmente ao acaso proporcionam a recombinação máxima, mas não permitem nenhum grau importante de persistência das combinações uma vez formadas. Uma condição intermediária permite que toda combinação seja formada, mais cedo ou mais tarde, e oferece persistência suficiente dessas combinações para proporcionar um pouco mais de margem para a seleção do que no caso dos rearranjos ao acaso²⁵⁴ (WRIGHT, 1931, p. 146).

Prima facie, não há, sob o ponto de vista lógico, limitações para o número de fatores causais envolvidos num sistema desse tipo. Wright (1931, p. 143) chega a classificar, em um quadro com relevante poder explicativo, todo um conjunto de fatores que contribuiriam para,

²⁵³ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 146: “*Evolution as a process of cumulative change depends on a proper balance of the conditions, which, at each level of organization – gene, chromosome, cell, individual, local race – make for genetic homogeneity or genetic heterogeneity of the species. While the basic factor of change – the infrequent, fortuitous, usually more or less injurious gene mutations –, in themselves, appear to furnish an inadequate basis for evolution, the mechanism of cell division, with its occasional aberrations, and of nuclear fusion (at fertilization) followed at some time by reduction make it possible for a relatively small number of not too injurious mutations to provide an extensive field of actual variations*”.

²⁵⁴ Traduzido de WRIGHT, 1931, p. 146: “*Complete linkage cuts down variability by preventing recombination. Wholly random assortment gives maximum recombination but does not allow any important degree of persistence of combinations once reached. An intermediate condition permits every combination to be formed sooner or later and gives sufficient persistence of such combinations to give a little more scope to selection than in the case of random assortment*”.

de um lado, a homogeneidade das espécies (duplicação gênica, agregação gênica, mitose, conjugação, *linkage*, restrição do tamanho da população, pressão ambiental, cruzamento cruzado entre subgrupos, adaptabilidade individual, entre outros) e, do outro lado, para a heterogeneidade das espécies (mutação gênica, divisão aleatória de agregados, aberrações cromossômicas, meiose, *crossing-over*, hibridização, subdivisão de grupos, adaptabilidade individual, entre outros). Nenhum fator causal constituiria, nesse sistema, causa necessária e suficiente para, individualmente, determinar a evolução biológica, seja ele o tamanho populacional, a adaptabilidade individual (que pode agir, por sinal, tanto na direção da conservação quanto da inovação, a depender do contexto ambiental), ou qualquer outro. As contribuições de cada um deles manifestar-se-iam, portanto, em termos probabilísticos. É admissível que a ação brusca de um desses fatores, como uma força perturbadora (“disturbing forces”, nas palavras de WRIGHT, 1931, p. 105) – subdivisão de grupos por insulamento ou barreira geográfica recente, por exemplo – poderia alterar essa situação de equilíbrio. No entanto, em larga medida, entendemos ser corolário da *rationale* desse sistema que a marcha do processo evolutivo das espécies, tanto na via da anagênese quanto da cladogênese, seria balizada pela conservação de pequenas mudanças inovadoras (pequenas variações herdáveis) enquanto o sistema oscila entre seus polos de inovação e conservação e mantém seu estado de equilíbrio dinâmico de longo prazo.

A inspiração dos teóricos da Síntese para essa ideia do equilíbrio dinâmico que guiaria o processo evolutivo é encontrada, conforme salientamos previamente, nas leis da termodinâmica (FISHER, 1930, p. 36-37). Assim como no caso da segunda lei da termodinâmica de Maxwell (KOJMAN-ROZEN, 2011), a matematização (por meio da estatística, no caso do evolucionismo) foi a ferramenta utilizada para lidar com as múltiplas interações causais, ao nível intracelular. Essa matematização auxiliou a vencer as dificuldades epistemológicas na apreensão de padrões de ocorrência de eventos individuais, por meio da inferência de leis que descrevem a regularidade das médias do sistema, em termos de probabilidades.

4.4 Empirismo e experimentação nas ciências biológicas

Na Idade Antiga, o fundamento de validade e verdade das explicações sobre os fenômenos do mundo empírico era encontrado em um pensamento predominantemente racionalista, herdeiro de uma concepção de mundo cujas raízes podem ser encontradas na

filosofia platônica (ABRANTES, 2016, p. 90-92). O pensamento racionalista extremo exige que as provas que fundamentam uma explicação devam fornecer tanta certeza quanto as provas matemáticas. Dadas as limitações resultantes da forma imperfeita como nossos sentidos apreendem as experiências e sensações do mundo material, o acesso ao conhecimento pela via empírica foi, em larga medida, desfavorecido e depreciado até finais da Idade Média. Sob essa perspectiva, a verdade das explicações – suas essências perfeitas – somente poderia ser encontrada, portanto, no mundo das ideias, não no mundo das coisas. Embora Aristóteles e seus seguidores atribuíssem mais importância ao conhecimento obtido pelos sentidos que Platão, a atitude empirista dos antigos e medievais tinha limitações, pois eles coincidiam com a filosofia platônica no entendimento de que “o objeto do conhecimento é, primordialmente, a forma, a essência” (ABRANTES, 2016, p. 62).

A partir do século XVI, com o recrudescimento do pensamento naturalista no mundo ocidental, nota-se um gradual abandono da imagem de natureza divinizada dos antigos (ABRANTES, 2016, p. 92). Com a Revolução Científica, conforme vimos no Capítulo 1, o empirismo reapresentou-se como uma via possível de acesso ao conhecimento. Sua incorporação às bases metodológicas das ciências modernas, associada a uma a mecanização das explicações causais, abrirá novos caminhos de investigação empírica: “a emergência de uma imagem mecanicista de natureza foi uma condição necessária para que a experimentação se qualificasse como um método adequado para a obtenção de conhecimento a respeito da Natureza” (ABRANTES, 2016, p. 22). Como resultado desse processo, a racionalidade das ciências modernas e contemporâneas tornou-se, simultaneamente, hipotético-dedutiva e indutivo-empirista, o que implica que as explicações científicas obtidas com auxílio dela, para serem consideradas válidas, passaram a precisar atender a requisitos específicos exigidos por ambas as racionalidades, de conformidade lógico-normativa e de efetividade empírica.

Ao longo do texto (no Capítulo 2, sobretudo), apresentamos as sólidas bases empiristas de Darwin e da Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural. As bases experimentalistas de Darwin, devemos dizer, não eram, porém, tão abrangentes. Darwin utilizou, em seus argumentos na *Origem das espécies*, também em obras subsequentes, evidências obtidas a partir de experimentos realizados por pecuaristas e horticultores, bem como por cientistas renomados de seu tempo (DARWIN, 2018): experimentos com embriões, realizados por Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (p. 50); cruzamentos de animais para a obtenção de novas raças ou espécies, realizados John Sebright (p. 63); experimentos com plantas, realizados por Gärtner e Kölreuter, entre outros exemplos. Darwin realizou, ele próprio,

diversos experimentos em jardins botânicos, em zoológicos, além de experiências com plantas e suas sementes em um "laboratório" improvisado no jardim de sua propriedade. Citaremos alguns exemplos desses experimentos:

Ofereço mais um exemplo de como plantas e animais distantes na escala da natureza são interligados por uma complexa teia de relações. A exótica *Lobelia fulgens*, no sul da Inglaterra, não é visitada por qualquer inseto e, assim, devido à sua estrutura peculiar, não deposita sementes. Muitas de nossas plantas de orquidário dependem da visita de mariposas, que removem suas massas de pólen e as tornam férteis. Tenho ainda razão para crer que as mamangabas são indispensáveis à fertilização do amor-perfeito (*Viola tricolor*), pois essa flor não é visitada por nenhuma outra abelha. A partir de experimentos que eu mesmo realizei, pude constatar que as visitas de abelhas, se não são indispensáveis, ao menos são muito benéficas à fertilização de nossos trevos; mas as mamangabas são as únicas que visitam o trevo-vermelho (*Trifolium pratense*), pois apenas elas são capazes de alcançar o néctar (DARWIN, 2018, p. 132-134).

Ao longo de dois meses, colhi em meu jardim sementes de doze espécies extraídas dos excrementos de pássaros de pequeno porte e elas me pareceram perfeitas; algumas delas com as quais realizei experimentos chegaram a germinar (DARWIN, 2018, p. 481).

Alguns gaviões e corujas engolem suas presas inteiras e, após um intervalo de doze a vinte horas, expelem pelotas de alimento não digerido, que, como mostram experimentos por mim realizados no Jardim Zoológico, incluem sementes suscetíveis de germinação (DARWIN, 2018, p. 482).

Realizei diversos experimentos, mas relatarei aqui apenas um. Extraí das beiradas de uma pequena lagoa, em um mês de fevereiro, três colheres de sopa de lama, em diferentes pontos, abaixo do nível da água; uma vez seca, o total de lama pesava seis onças e $\frac{3}{4}$ [190 g]. Mantive esse montinho recoberto em meu laboratório por seis meses, colhendo e contando as plantas à medida que iam surgindo; havia plantas de muitos gêneros e foram, ao todo, 537 indivíduos. E isso tudo em uma porção de lama armazenada em uma xícara de chá! Levando-se em conta esses fatos, parece-me que seria algo inexplicável que os pássaros aquáticos não transportassem sementes de plantas de água doce a vastas distâncias e essas plantas não tivessem ampla disseminação (DARWIN, 2018, p. 511).

Darwin parece atribuir, também, um valor à experimentação superior àquele atribuído à simples observação, quando se trata da comprovação de alguns fenômenos evolutivos, mesmo aqueles cujo componente de historicidade é marcante, como é o caso da fertilidade entre animais de espécies diferentes:

Por fim, híbridos ou mestiços derivados do cruzamento entre formas domésticas são perfeitamente férteis. Posso afirmá-lo com base em observações feitas sobre as mais diferentes raças. Seria difícil, talvez até impossível, apresentar pelo menos um caso de prole híbrida perfeitamente fértil resultante de dois animais claramente distintos. Alguns autores acreditam que a domesticação contínua por um longo período de tempo eliminaria essa forte propensão à esterilidade. A história natural do cachorro parece conferir alguma probabilidade a essa hipótese, desde que seja aplicada a espécies estreitamente aparentadas. Mas faltam experimentos para confirmá-la, e parece-me extremamente imprudente querer estendê-la a ponto de supor que espécies originariamente distintas, como são atualmente os pombos-mensageiro, cambalhota, papo-de-vento e rabo-de-leque, produziriam uma prole perfeitamente fértil quando cruzados inter se (DARWIN, 2018, p. 72).

No entanto, experimentos realizados por pecuaristas e horticultores, cujas finalidades são muito comumente econômicas, não de investigação científica, carecem de padronização rigorosa de métodos. Os experimentos realizados por cientistas experimentados e pelo próprio Darwin, embora mais rigorosos, sob o ponto de vista metodológico, e com propósitos científicos definidos de antemão, eram feitos com espécies de animais e plantas "domesticáveis", com números de exemplares que podemos julgar limitados, se comparados com as populações das espécies em habitats naturais. As intervenções realizadas (hibridização, modificações da disponibilidade de alimentos e água, autopolinização, etc.) eram, também, limitadas em escopo. Se considerarmos os padrões metodológicos de cientificidade contemporâneos (ABRANTES, 2014), os dados e as informações obtidas por alguns desses caminhos, sobretudo aquelas produzidas a partir do exercício não planejado de atividades agropecuárias, encontrariam dificuldades para alcançarem o valor cognitivo de evidências científicas confiáveis para generalizações da abrangência dos princípios evolutivos, ainda que reconheçamos um componente de anacronismo neste nosso comentário.

No início do século XX, com a redescoberta da genética mendeliana, há uma intensificação da aplicação dos métodos experimentais no estudo dos fenômenos biológicos (ARAÚJO, 2001). Os resultados dos estudos de Mendel demonstram que ele era, indubitavelmente, um exímio experimentalista: com experimentos relativamente simples de hibridização de ervilhas, realizados em um pequeno jardim, num mosteiro na cidade de Brno, atual República Tcheca, ele definiu, com rigor, uma das mais fundamentais ideias das ciências contemporâneas – a transmissão particulada das características hereditárias –, que viria a se consolidar no conceito de gene. Em seu artigo de 1866, Mendel enunciou uma partícula discreta (individualizada), intracelular e persistente (ao longo das gerações) seria responsável por intermediar a hereditariedade (HUMINIECKI, 2020, p. 1), noção essa que, como vimos, destronou a hegemonia da *blending inheritance* e revolucionou as bases da hereditariedade. Diante de uma limitada disponibilidade de recursos materiais para realizar seus experimentos – pouco mais que uma pequena área de jardinagem e algumas cepas de plantas –, a precisão das conclusões de Mendel pode ser diretamente associada ao rigor do método científico que ele aplicou: “a excelência de Mendel no método científico, na álgebra e na análise lógica o ajudou a planejar o experimento correto e a interpretar os resultados de forma perspicaz” (HUMINIECKI, 2020, p. 1). As contribuições de Mendel transcendem, portanto, a genética, para adentrar o âmago da estrutura metodológica da ciência:

A abordagem engenhosa de Mendel desempenhou um papel fundamental não apenas na genética, mas também, de forma mais geral, no desenvolvimento do método científico. Os experimentos de Mendel anteciparam, de forma quase profética, o princípio da interligação entre a análise lógica e a experimentação prospectiva sistemática. Especificamente, Mendel 1) formulou a hipótese de um engenhoso mecanismo corpuscular de hereditariedade baseada em partículas, 2) testou esse mecanismo de forma sistemática em experimentos prospectivos bem planejados, e 3) analisou logicamente as implicações do mecanismo após sua confirmação. O princípio de combinar empirismo com lógica só foi formalmente declarado e desenvolvido meio século depois, com o movimento dos empiristas lógicos²⁵⁵ (HUMINIECKI, 2020, p. 1).

Esse avanço inicial da experimentação nos estudos biológico deu-se, no entanto, em concorrência (talvez seja até possível dizer, em choque) com a tradição naturalista de explicações evolutivas historiográficas, da qual a tese darwiniana da evolução das espécies por seleção natural é exemplar (ARAÚJO, 2001). A lógica experimentalista, como temos argumentado, acompanha-se de um ideal de controle dos fenômenos, planejamento das intervenções, quantificação das variáveis estudadas e possibilidade de previsão de eventos futuros. O alcance desses objetivos de pesquisa, fundados nos princípios da causalidade mecânica e de uma epistemologia verificacionista, tornava-se cada vez mais desejável e aplicável na fisiologia e na genética que se desenvolviam: “a genética é a primeira das ciências biológicas que alcançou uma posição na qual a física já está há muitos anos. Pode-se falar, justificadamente, em coisas tais como uma genética matemática, teórica, bem como uma genética experimental, tal como na física” (Theodosius Dobzhansky apud ARAÚJO, 2001, p. 724). A aplicação plena dessa abordagem, no entanto, nem sempre se mostrava empiricamente viável para todos os conceitos evolucionistas, sobretudo para aqueles cujo componente de historicidade, que assumia como referência linhas temporais longuíssimas, estava no próprio fundamento de validade, como era o caso da seleção natural. Diante desse elemento inapreensível de ordem temporal e de outras limitações à experimentação nos estudos evolutivos, houve quem, imbuído de um ideário experimentalista mais extremado, chegasse a afirmar, como disse o fisiologista de W. J. Crozier a seus estudantes de Harvard, que “evolução é um bom tema para suplementos de domingo nos jornais, mas não é ciência. Você não pode fazer experimentos com dois milhões de anos” (SMOCOVITIS, 1996, p. 118 apud ARAÚJO, 2001, p. 718).

²⁵⁵ Traduzido de HUMINIECKI, 2020, p. 1: “Mendel’s ingenious approach played a key role, not just in genetics, but also more generally in the development of the scientific method. Mendel’s experiments almost prophetically foreshadowed the principle of intertwining logical analysis and systematic prospective experimentation. Specifically, Mendel 1) hypothesized an inventive corpuscular mechanism of particle-based heredity, 2) tested his mechanism systematically in well-designed prospective experiments, and 3) logically analyzed the implications of the mechanism once it was confirmed. The principle of combining empiricism with logic was formally stated and developed only half a century later by the movement of logical empiricists”.

As divergências entre a história natural da teoria de Darwin e a experimentação da genética do início do século XX se consubstanciam, adicionalmente, no embate entre o gradualismo do processo evolutivo darwiniano e o saltacionismo da teoria mutacionista de De Vries e outros geneticistas pioneiros, embate sobre o qual já refletimos. A abordagem matemática de Fisher, Wright e Haldane dos fenômenos de variação populacional e hereditariedade logrou refutar a perspectiva saltacionista da evolução. Logrou, ainda, converter a estatística populacional dos biometristas, que anteriormente objetavam o modelo genético de *particulate inheritance* mendeliano, em uma fonte de evidências quantificáveis para os fundamentos teóricos da genética mendeliana. Essa aproximação de conceitos e metodologias reduziu, mas não eliminou totalmente a distância que separava as teorias de Darwin e Mendel nas primeiras décadas do século passado. O trabalho experimental e a produção teórica de Theodosius Dobzhansky viriam a extinguir, de forma definitiva, essa dicotomia entre as abordagens naturalista e experimentalista da evolução. Concordamos, por isso, com Araújo (2001, p. 724), quando ele afirma que essa pode ser considerada uma das mais relevantes contribuições de Dobzhansky para a Síntese Evolutiva Moderna:

Dobzhansky transformou as expressões matemáticas dos grandes teóricos da genética de populações (Wright, Fisher, Haldane) em uma linguagem acessível aos biólogos. Como salientaram Ayala et al. (1997), ele vestiu as equações com história natural e genética de populações experimentais, estendendo a síntese à especiação e a outros problemas importantes omitidos pelos matemáticos” (ARAÚJO, 2001, p. 724).

Sob a nossa perspectiva reflexiva do desenvolvimento epistemológico dos conceitos evolucionistas, entendemos estarmos dotados de argumentos suficientes para avançar a afirmação de que, com a Síntese Evolutiva Moderna e os experimentos estatísticos em populações reais e em laboratoriais de genética, a experimentação se incrustou, de forma definitiva, com elevados e rigorosos padrões metodológicos, no cerne da validação dos conceitos evolucionistas de variação populacional e hereditariedade. As eventuais imprecisões relacionadas aos métodos de aferições experimentais dos fenômenos biológicos ou eventuais limitações nas intervenções a serem realizadas não comprometem, aprioristicamente, as relações conceituais que com a metodologia experimental se quer inferir. O planejamento cuidadoso dos estudos, a utilização de recursos matemáticos avançados (inclusive, se pudemos fazer uma breve digressão até a atualidade, a aplicação de recursos computacionais, de inteligência artificial, de tecnologias de edição genética, entre outros recursos) e o zelo pela lógica na formulação de hipóteses e conclusões minimizam, como Mendel bem demonstrou, eventuais limitações e inexatidões nas inferências das regularidades que balizam os fenômenos biológicos. Nesse sentido, concordamos inteiramente com Fisher quando ele pondera que as

dificuldades, de ordem metodológica e epistemológica, à aplicação da experimentação nas ciências biológicas não parecem diferir daquelas enfrentadas por outras ciências empíricas, como as ciências físicas:

Como em todas as outras determinações experimentais de valores teóricos, a precisão alcançável na prática é limitada pela extensão das observações; o resultado derivado de qualquer número finito de observações estará sujeito a um erro de amostragem aleatória, mas esse fato, de forma alguma, torna conceitos como taxas de mortalidade ou expectativas de vida obscuros ou inexatos. [...] A inexatidão de nossos métodos de medição não tem mais razão, nas estatísticas, de obscurecer nossa concepção do que estamos medindo do que tem na física²⁵⁶ (FISHER, 1930, p. 23).

4.5 O argumento historiográfico no evolucionismo

Na frase de abertura de seu livro *The growth of biological thought*, Ernst Mayr (1982, p.1) afirma que “tudo que muda com o tempo tem, por definição, uma história²⁵⁷”. Com essa frase, ele coloca ênfase na centralidade do conhecimento da história para o entendimento do universo, da arte, da filosofia, das ideias, do que podemos deduzir sua importância também para a fundamentação dos conceitos, em geral, e dos conceitos evolucionistas, em particular. Pelos argumentos que acabamos de apresentar nas seções anteriores sobre o mecanicismo e a experimentação, podemos apresentar a ressalva de que, embora a dependência do argumento historiográfico seja seminal para os conceitos evolucionistas na forma como foram apresentados na *Origem das espécies*, o argumento historiográfico não será, após a Síntese Evolutiva, a via exclusiva para a fundamentação da validade dos princípios evolucionistas.

Desde Mendel, que “formulou suposições fundamentais da teoria da *particulate inheritance* e, em seguida, testou sistematicamente essas suposições confrontando-as com dados provenientes de experimentos extremamente bem planejados” (HUMINIECKI, 2020, p. 2), a validade dos princípios de variação populacional e hereditariedade passou a se fundar, mormente, nas relações de causalidade mecânica estabelecidas com auxílio dos estudos experimentais da genética laboratorial. Também a efetividade das regularidades genéticas

²⁵⁶ Traduzido de FISHER, 1930, p. 23: “As in all other experimental determinations of theoretical values, the accuracy attainable in practice is limited by the extent of the observations; the result derived from any finite number of observations will be liable to an error of random sampling, but this fact does not, in any degree, render such concepts as death rates or expectations of life obscure or inexact. [...] The inexactitude of our methods of measurement has no more reason in statistics than it has in physics to dim our conception of that which we measure”.

²⁵⁷ A frase original de MAYR, 1982, p. 1, é a que segue: “anything that changes in time has, by definition, a history”.

inferidas por essa via passa a ser verificada por testes experimentais, em alinhamento a uma epistemologia verificacionista que, conforme discutimos no Capítulo 1, viria a ser sistematizada por empiristas lógicos ao longo do século XX (CARNAP, 2012; HEMPEL, 1966).

No caso dos princípios de ancestralidade comum, evolução, seleção natural e adaptação, vimos que a fundamentação de seus valores cognitivos recorre a classificações e categorizações de graus de parentescos e padrões relacionais (representações da filogenia), a observações comparativas de características qualitativamente avaliadas e nem sempre mensuráveis (uso do método observacional-comparativo na anatomia comparada, paleontologia, embriologia, etc.) e à construção de narrativas históricas de eventos únicos, tanto na via da anagênese quanto da clagogênese (que nem sempre podem ser reproduzidos em condições experimentais, dada a longa temporalidade prevista para o alcance de resultados). Eles persistem dependentes, portanto, do argumento historiográfico. Algumas áreas das ciências físicas, como a astronomia, a meteorologia e a geologia, são igualmente caracterizadas por eventos únicos, em termos históricos, o que as difere de outros domínios da física, como a cinemática e a termodinâmica, em que os eventos são repetitivos ou replicáveis em condições similares. Essas ciências físicas também recorrem ao argumento historiográfico em suas explicações. A historicidade, sobretudo quando procedida por um método comparativo-observacional, é também um componente epistemológico essencial para as explicações nas ciências sociais e humanas²⁵⁸. Essas ciências recorrem à construção de associações e de narrativas, criadas *a posteriori*, para demonstrar que um determinado fenômeno foi possível por atender, no passado, a condições conjunturais específicas (CAMPBELL, 1988).

Assim como as explicações atemporais das ciências físicas, as explicações que dependem do argumento historiográfico também assumem como válida a premissa da causalidade de que todo efeito tem uma causa material que o precede. Teorias dependentes do argumento historiográfico recorrem a procedimentos cognitivos de validação de suas generalizações causais que são distintos daqueles procedimentos de testabilidade aos quais são submetidas as inferências sobre regularidades descritivas da causalidade mecânica (CAMPBELL, 1988). No entanto, diante do que argumentamos acima, seria equivocado afirmar que o argumento historiográfico é incompatível com a noção de causalidade.

²⁵⁸ Por ciências sociais e humanas, nos referimos aqui a áreas do conhecimento que estudam as relações intersubjetivas entre os seres humanos e seu convívio em grupos, como antropologia, história, ciência política, psicologia, literatura, sociologia, economia e ciências afins (ABBAGNANO, 1971).

Um outro aspecto dessa discussão que também interessa ao objeto de nossas reflexões envolve o conteúdo empírico dos conceitos dependentes de um argumento historiográfico. A mudança das características fenotípicas e genotípicas de uma linhagem genealógica ou a diversificação das espécies ao longo do tempo são evidências empíricas do fenômeno evolutivo que estão na origem da formulação de hipóteses sobre as regularidades do mundo orgânico. Os casos particulares de manifestação dessas evidências empíricas são também utilizados na fase de análise da efetividade dos conceitos evolutivos *vis à vis* os fenômenos do mundo material. Em exemplo ilustrativo desses processos de dedução e indução, podemos mencionar que foi a partir de evidências empíricas desse tipo que Darwin inferiu os conceitos de ancestralidade comum e seleção natural e construiu narrativas evolutivas:

Em geral, quando um mesmo órgão aparece em muitos membros de uma mesma classe, especialmente em membros com hábitos de vida muito diferentes, podemos atribuir essa presença à herança a partir de um ancestral comum e sua ausência, em outros membros, à perda do órgão por falta de uso ou por seleção natural (DARWIN, 2018, p. 276-277).

Ao cabo dessa reflexão, chegamos à conclusão de que a enunciação de conceitos científicos com conteúdo historiográfico, como é o caso dos principais princípios evolucionistas, não implica, necessariamente, o esvaziamento de seus conteúdos empíricos. Os conceitos evolutivos que recorrem ao argumento historiográfico não possuem, portanto, valor cognitivo de especulações metafísicas; eles permanecem sendo conceitos científicos, com valor cognitivo de regularidades a respeito do mundo empírico.

4.8 Alguns desafios conceituais remanescentes

Aproximamo-nos da reta final de nossas reflexões neste trabalho. Isso não significa, bem evidentemente, que esgotamos todas as vias analíticas possíveis sobre o desenvolvimento lógico-conceitual do modelo evolucionista desde a publicação da *Origem das espécies* até as contribuições da Síntese Evolutiva Moderna do período que estudamos, que vai até o final da década de 1930. Diversos desafios conceituais permaneceram após esse período inicial de consolidação da Síntese e, com efeito, alguns permanecem até hoje. Nesta subseção, levantaremos algumas dessas questões, com o objetivo de fomentar o interesse (que é também nosso) por reflexões sobre a evolução dos conceitos evolucionistas ao longo segunda metade do século XX até os dias de hoje. Antecipamos ressalva de que esta seção não versará sobre respostas, mas sim sobre perguntas, a servirem de eventual substrato para reflexão filosófica futura.

4.8.a Um mundo após Popper: testabilidade e refutabilidade dos conceitos evolucionistas

Constatamos ao longo de nossas reflexões como, com auxílio de uma matematização e sob influência de princípios da causalidade mecânica e de uma epistemologia verificacionista de validação das teorias científicas modernas e contemporâneas, a Síntese Evolutiva Moderna aprimorou as vias cognitivas pelas quais seria possível verificar a adequação empírica dos conceitos evolucionistas. Após as relevantes contribuições epistemológicas e metodológicas da Síntese, restou cimentado o lugar dos principais princípios evolucionistas – ancestralidade comum, evolução, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação – nas respostas ao “porquê” o mundo biológico funciona da forma que funciona, ou seja, no cerne da causalidade evolucionista.

Em meados do século XX, o filósofo austríaco Karl Popper (1902-1994) provocará um terremoto no seio do Empirismo Lógico e do verificacionismo. A principal preocupação da obra de Popper diz respeito ao método, à objetividade e à cientificidade das teorias (THORNTON, 2023, p. 3). Nesse aspecto, ele coincidia com os filósofos do Círculo de Viena do Empirismo Lógico, embora Popper se considerasse um *outsider* desse grupo e tivesse, ele próprio, se outorgado o status de "assassino do positivismo" (CREATH, 2023, p. 17). Com efeito, sua obra, sobretudo o livro *A Lógica da Pesquisa Científica*, de 1934²⁵⁹ (POPPER, 2013), é disruptivo com a perspectiva analítica dos demais empiristas sobre os critérios de validação dos conceitos científicos. Para Popper, a apresentação de evidências empíricas que comprovem conceitos, leis e teorias não é suficiente para que esses entes possam ser considerados científicos: é necessário que exista pelo menos um contraexemplo empírico que possa falsificar a generalização fundamental (THORNTON, 2023, p. 8-9). A possibilidade de refutar uma lei por meio do caso excepcional – a exceção que refuta a regra²⁶⁰ – é, para Popper, um elemento demarcador da cientificidade de um sistema científico. Popper teve treinamento universitário em física e matemática, com estudos doutorais em psicologia, tendo a comparação entre as teorias físicas e as teorias sociais e humanas lhe inspirado na inferência do argumento de refutabilidade ("falsifiability"):

²⁵⁹ A obra original em alemão, *Logik der Forschung*, foi publicada em 1934. Sua primeira versão em inglês, *The Logic of Scientific Discovery*, que contribuiu largamente para a difusão das ideias de Popper, foi publicada em 1959.

²⁶⁰ Numa breve digressão baseada em impressões de ordem pessoal, essa frase nos parece ir, talvez, no contrassenso do que se tornou uma associação do senso comum e do que, muito comumente, se pode ouvir também de cientistas contemporâneos, de que as exceções comprovariam a regra. A teoria popperiana não nos deixa dúvidas de que a exceção que refuta a regra é, para a *rationale* de validação dos conceitos científicos, imensamente mais importante.

Popper estava profundamente impressionado pelas diferenças entre as teorias supostamente “científicas” de Freud e Adler e a revolução provocada pela teoria da relatividade de Einstein na física, nas duas primeiras décadas do século XX. A principal diferença entre elas, segundo Popper, era que, enquanto a teoria de Einstein era altamente “arriscada”, no sentido de que era possível deduzir consequências a partir dela que eram, à luz da física newtoniana dominante na época, altamente improváveis (por exemplo, que a luz é desviada em direção a corpos sólidos — o que foi confirmado pelos experimentos de Eddington em 1919), e que, se se revelassem falsas, falsificariam toda a teoria, nada poderia, nem *em princípio*, falsificar as teorias psicanalíticas. Elas eram, argumenta Popper, “simplesmente infalsificáveis, irrefutáveis. Não havia nenhum comportamento humano concebível que pudesse contradizê-las²⁶¹” (THORNTON, 2023, p. 6-7).

Para Popper, portanto, evidências empíricas que comprovem uma lei natural ou teoria não são suficientes para lhes atribuir um caráter científico e fundamentar sua validade. Na mesma linha, Carroll (2024, p. 18) nos alerta que “a confirmação de uma hipótese – ou de suas instâncias não examinadas – será sempre sensível às crenças de fundo que estiverem em vigor. Tanto é assim que, com as crenças de fundo apropriadas, praticamente qualquer coisa pode ser confirmada, independentemente de seu status como lei ou de se parecer ou não com uma lei”²⁶². Logo, não é a verificabilidade, em sua *démarche* de busca por evidências comprobatórias, que, de forma positiva, valida um sistema científico empírico (SOBER, 1988; VAN FRAASSEN, 1987). Para Popper, portanto, a sistemática de validação deve ser lida ao contrário. São as evidências que refutam o sistema que devem ser buscadas, sendo científicos os sistemas que, continuamente submetidos a esse teste, sob o olhar contínuo e crítico de diferentes cientistas, de diferentes áreas, ainda não foram refutados. Deixemos o próprio Popper nos explicar:

Contudo, só reconhecerei um sistema como empírico ou científico se ele for passível de comprovação pela experiência. Essas considerações sugerem que deve ser tomado como critério de demarcação, não a verificabilidade, mas a falseabilidade [refutabilidade] de um sistema. Em outras palavras, não exigirei que um sistema científico seja suscetível de ser dado como válido, de uma vez por todas, em sentido positivo; exigirei, porém, que sua forma lógica seja tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em sentido negativo: deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema empírico (POPPER, 2013, p. 38).

O período de desenvolvimento conceitual da Síntese Evolutiva Moderna que é objeto de nossa análise neste trabalho vai até fins da década de 1930. Vimos a importância da

²⁶¹ Traduzido de THORNTON, 2023, p. 6-7: “Popper was also profoundly impressed by the differences between the allegedly “scientific” theories of Freud and Adler and the revolution effected by Einstein’s theory of Relativity in physics in the first two decades of the twentieth century. The main difference between them, as Popper saw it, was that while Einstein’s theory was highly “risky”, in the sense that it was possible to deduce consequences from it which were, in the light of the then dominant Newtonian physics, highly improbable (e.g., that light is deflected towards solid bodies—confirmed by Eddington’s experiments in 1919), and which would, if they turned out to be false, falsify the whole theory, nothing could, even in principle, falsify psychoanalytic theories”.

²⁶² Traduzido de CARROLL, 2024, p. 18: “[...] the confirmation of a hypothesis or its unexamined instances will always be sensitive to what background beliefs are in place. So much so that, with background beliefs of the right sort, just about anything can be confirmed irrespective of its status as a law or whether it is lawlike”.

influência de uma epistemologia verificacionista na fundamentação dos conceitos evolucionistas desse período, verificacionismo esse que, no mesmo período, se sistematizava gradualmente nas reflexões dos empiristas lógicos dos Círculos de Viena e de Berlim. Os critérios de refutabilidade popperianos, que abalaram as bases do Empirismo Lógico, lançam também sobre os conceitos evolucionistas novas exigências para a validação de seu valor cognitivo. Num mundo após Popper, sentimo-nos, por isso, obrigados a nos questionar novamente sobre os fundamentos de validade dos principais conceitos evolucionistas. Colocar-nos-emos questões que consideramos serem pertinentes para nossa reflexão não somente sobre o desenvolvimento epistemológico dos conceitos evolucionistas na segunda metade do século XX, mas também para as atuais discussões de cientistas e filósofos da ciência sobre eles.

Antes de apresentarmos esses questionamentos voltados a estimular nossas reflexões futuras, entendemos ser necessário um alerta. Em tempos de tentativas de descrédito da ciência e de recrudescência do obscurantismo, como os que voltamos a viver no momento em que estamos escrevendo este trabalho, nunca é demais recordar que a dúvida sobre as respostas previamente concebidas para os problemas é o que diferencia o conhecimento científico do conhecimento dogmático. Ao mencionarmos nosso interesse em voltar a refletir sobre os fundamentos da validade dos principais conceitos evolucionistas, não o faremos, por óbvio, com o intuito de desacreditá-los, mas sim de refinar suas bases cognitivas e de lastrear o caminho em direção a novos aprimoramentos conceituais. Com efeito, essa é – se não havíamos mencionado anteriormente, o faremos agora – a perspectiva com que procedemos nossa reflexão ao longo de todo o trabalho. Após essa breve digressão, mas que entendemos ter sido necessária, prossigamos.

Vimos ao longo de nosso trabalho como, com a matematização das causas apreensíveis pelos sentidos e mensuráveis, pela representação da “causa interna” de produção do efeito por meio de modelos mecanicistas e com auxílio de intervenções experimentais planejadas e rigorosas, a Síntese Evolutiva Moderna auxiliou a sedimentar os princípios evolucionistas de variação populacional e hereditariedade. Vimos, também, como, com a arborização da diversidade da vida por meio de representações da filogenia por diferentes metodologias e a construção de argumentos historiográficos plausíveis, a Síntese contribuiu para a consolidação adicional do princípio de ancestralidade comum e o refinamento conceitual das duas vias evolutivas – anagênese e cladogênese. Vimos, ainda, como a Síntese, com a estatística de populações reais, logrou ampliar o valor cognitivo da seleção natural e adaptação. Diante do que precede, podemos explicitar, em todos os termos, uma importante conclusão a que podemos

chegar: a fundamentação da validade e da efetividade dos principais conceitos evolucionistas procede-se por diferentes vias epistemológicas e metodológicas. Por isso, entendemos – e esperamos ter conseguido, a essa altura de nossas reflexões, demonstrar a importância dessa constatação – que não podemos analisar a validade e a efetividade da teoria evolutiva como um “pacote”, fazendo uso das mesmas ferramentas e critérios racionalistas e empiristas de avaliação para todos os conceitos. Entendemos que se faz necessário avaliar os conceitos evolucionistas individualmente²⁶³. Ora, se a fundamentação da validade e da efetividade dos principais conceitos evolucionistas procede-se por diferentes vias epistemológicas e metodológicas, podemos esperar que o impacto da exigência do critério de refutabilidade sobre o valor cognitivo dos conceitos evolucionistas não seja, portanto, homogêneo. Diante do que precede, importa-nos questionar, em um mundo após Popper, se os principais conceitos evolucionistas, com o desenvolvimento conceitual aportado pela Síntese Evolutiva Moderna, são testáveis e refutáveis?

Em uma primeira aproximação desse problema – a ser, evidentemente, aprofundada –, podemos mencionar que, se nos voltarmos para a variação populacional e a hereditariedade, nos recordaremos que, entre as estratégias de verificação da efetividade empírica desses conceitos desenvolvidas pela Síntese Evolutiva Moderna, merece destaque a intensificação do uso dos métodos experimentais da genética laboratorial, que serviu de fonte confiável para inferências das leis da genética (indução de leis empíricas) e para evidências demonstrativas dessas mesmas leis (verificação de leis empíricas). Não haveria razões para não conjecturar que esses métodos empíricos também possam servir para testar casos excepcionais dessas leis empíricas que, caso identificados, impliquem refutar a generalização.

Se nos voltarmos para a fundamentação da validade dos princípios da ancestralidade comum e da evolução por anagênese e cladogênese, por meio da arborização que representa, em termos imagéticos, a diversidade dos seres vivos, nos recordaremos da pletora de ilustrações empíricas que Darwin e os naturalistas nos fornecem de linhagens genealógicas de espécies que remontam a tempos remotos. Como esse sistema de classificação e categorização da diversidade das espécies lida com evidências empíricas contraditórias? Vimos que o exemplo de linhagem genealógica do cavalo e animais correlatos (correspondente, na categorização taxonômica, à família *Equidae*) que Thomas Huxley utilizou para defender Darwin em uma palestra

²⁶³ Com alguma flexibilidade, pode-se pensar em possivelmente avaliá-los em pares, como os três pares conceituais que agrupamos no início deste parágrafo: (i) ancestralidade comum-evolução [anagênese/cladogênese]; (ii) variação populacional-hereditariedade; e (iii) seleção natural-adaptação.

(HUXLEY, 1888, Lecture III) que viria a ser consagrada pela historiografia como uma das mais contundentes defesas da teoria da evolução estava, naquele momento em que Huxley a proferiu, incorretamente traçada pelos evolucionistas (MACFADDEN, 2005). A correção na arborização da diversidade da vida, nesse caso particular da família *Equidae*, foi procedida por evolucionistas posteriormente e a generalização de Huxley de que filogenia é evidência demonstrativa da evolução permaneceu válida. Haveria algum caso imaginável²⁶⁴ de linhagem genealógica de espécie que, se identificado empiricamente, refutaria os princípios de ancestralidade comum e evolução ao longo do tempo? Consideramos que as perguntas acima são importantes para a validação do sistema científico evolucionista.

Se nos voltarmos para os princípios de seleção natural e adaptação, nos recordaremos que o argumento historiográfico ao qual esses conceitos recorrerem permite aos evolucionistas construir histórias, *a posteriori*, que justificam os percursos evolutivos das espécies de acordo com seus relacionamentos com os ambientes circundantes. Nos recordaremos, ainda, como os modelos de Fisher, Wright e Haldane representaram essas noções em uma linguagem matemática, que descreve as probabilidades de morte e reprodução das espécies dentro de um determinado período de tempo, no caso da seleção natural, e sob uma lógica de relações de conformidade entre formas geométricas, no caso da adaptação. Como esse sistema lida com evidências empíricas contraditórias? Citamos casos de inconsistências nas narrativas seccionistas e adaptacionistas registradas na historiografia da biologia, como a associação do surgimento da visão em cores dos primatas com a necessidade de escapar de predadores, refutada por Nathaniel Dominy e Peter Lucas (2001), ou a associação entre pele clara em humanos e climas frios, refutada por Nina Jablonski e George Chaplin (2000). As narrativas construídas para esses casos particulares foram redesenhadas em novos termos, e o tipo de generalização permitida pelo argumento seccionista e adaptacionista continuou sendo aceito. A seleção natural precisa de ajustes constantes com cláusulas *ceterus paribus* e condicionantes *ad hoc* para manter sua validade? Como justificar as similaridades estruturais entre órgãos especializados presentes em espécies posicionadas em ramos muito distantes um do outro na árvore da vida? Haveria algum caso imaginável de associação seccionista e adaptacionista que, se identificado empiricamente, refutaria os princípios da seleção natural e da adaptação? As perguntas acima são importantes para a validação do sistema científico evolucionista

²⁶⁴ Conceito definido por POPPER, 2013, como “basic statement”, caso empírico singular, testável, que se contrapõe à generalização universal e que, se verificado, possui o potencial para refutá-la.

O intuito desses questionamentos é para que eles sirvam de provocações reflexivas. Como primeiras impressões em reação a eles, podemos aventar a hipótese, preliminar e inacabada, de que a predominância de componentes mecanicistas e experimentais na fundamentação dos conceitos de variação populacional de base mutacional e de hereditariedade por transmissão genética nos parece impor a esse par de conceitos menos problemas para lidar com a exigências de testabilidade e refutabilidade popperianas que aqueles enfrentados pelos conceitos de ancestralidade comum, evolução por anagênese e cladogênese, seleção natural e adaptação, cuja dependência de componentes racionalistas e hipotético-dedutivos não é negligenciável. A historiografia da ciência de Thomas Kuhn (2017) viria a relativizar, em alguma medida, as exigências de testabilidade e refutabilidade para as ciências apresentadas por Popper. Para Kuhn, visto que as provas absolutas (com a certeza das demonstrações matemáticas) das teorias científicas nem sempre podem ser obtidas a partir dos testes empíricos, a teoria científica dominante durante um determinado período histórico é aquela que fornece as conclusões mais prováveis de serem verdadeiras, que são mais aderentes aos fatos empíricos disponíveis. Imre Lakatos (1970) também apresenta visão mais moderada da aplicação do critério de refutabilidade de seu tutor, Popper, pois, para Lakatos, eventuais casos contraditórios ensejam, muito comumente, ajustes nas teorias, ao invés da refutação plena delas (LAKATOS, 1970). Em consequência, ao longo da história, as teorias científicas são abandonadas não porque foram claramente refutadas, mas porque foram substituídas por uma teoria alternativa que é mais aderente às evidências empíricas. A mudança de paradigma científico depende, nesse sentido, do surgimento de alternativas à teoria hegemônica dotadas de maior poder explicativo (KUHN, 2017). Ainda que visões refutabilistas mais flexíveis tenham emergido, entendemos que a tarefa de submeter o evolucionismo ao crivo do rigor metodológico popperiano pode ser um fator propulsor de seu desenvolvimento epistemológico continuado.

4.8.b Seleção natural: lei, força, conceito operativo, processo, mecanismo?

Após as contribuições conceituais da Síntese Evolutiva Moderna, a ideia de seleção natural pode ser entendida como sendo uma lei, uma força, um conceito operativo, um processo ou um mecanismo? Qual é o valor cognitivo do conceito de seleção natural? Para começarmos nossa discussão sobre essas indagações finais sobre o conceito de seleção natural, retornaremos

brevemente à *Origem das espécies* e clivaremos o conceito em seus dois componentes: o substantivo “seleção” e o qualificante “natural”.

A noção de “seleção” é inferida por Darwin a partir das atividades de domesticação de animais e cultura de plantas realizadas pelos seres humanos. Nesse contexto, essa noção é assumida por ele como tendo o caráter de um princípio normativo – uma lei – que guia a seleção das variações dos seres vivos em prol da satisfação dos interesses utilitaristas de seus criadores. Darwin apresenta inúmeros exemplos factuais de como se procede, há muito tempo, intencional ou inconscientemente, a ação de seleção pelo homem de características mais úteis em progênie de animais e plantas. Tendo convencido o leitor do poder da “seleção” feita pelo homem em lavouras e rebanhos, a argumentação de Darwin prossegue para uma inferência, por analogia, de que o princípio de seleção também deve guiar a seleção de variações entre animais e plantas selvagens:

Poderia o princípio de seleção, como vimos tão potente nas mãos do homem, aplicar-se na natureza? Veremos que ele atua aí com total eficácia. É preciso lembrar a infinidade de estranhas peculiaridades em que se dá a variação de nossas produções domésticas e, em menor grau, também a dos produtos naturais, sem esquecer a força da tendência hereditária; e pode-se dizer que, sob domesticação, a organização ganha algum grau de plasticidade. É preciso lembrar também que as relações recíprocas entre os seres orgânicos e deles com as condições físicas de vida são infinitamente complexas e estritamente adaptadas. Por que então, diante da ocorrência de variações úteis ao homem, seria implausível que outras eventuais variações, de algum modo úteis para cada um dos seres na grande e complexa batalha pela vida, ocorressem ao longo de milhares de gerações? E, se elas de fato ocorrem, lembrando que nascem mais indivíduos do que poderiam sobreviver, como duvidar que indivíduos de posse de alguma vantagem em relação a outros, por menor que seja, têm mais chance de sobreviver e procriar sua espécie? É certo, por outro lado, que qualquer variação minimamente prejudicial é destruída sem apelação. Dou o nome de seleção natural a essa preservação das variações favoráveis e rejeição das prejudiciais. (DARWIN, 2018, p. 143-144).

É digno de nota, no excerto acima, o recurso argumentativo que Darwin utiliza para persuadir o leitor sobre a vigência dessa lei em condições de vida selvagem, sem interferência humana. Tendo construído uma argumentação válida e suficientemente demonstrada da aplicação do princípio de seleção em casos particulares, na domesticação de plantas e animais, Darwin apresenta ao leitor o questionamento sobre a plausibilidade da aplicação desse princípio em uma situação geral, que seria para todos os casos de descendência com modificação de animais e plantas em vida selvagem. Esse questionamento aparece estruturado sob a forma de perguntas retóricas direta e engenhosamente postas ao leitor, por meio de construções frasais negativas, que culminam a nos confrontar com o questionamento de “seria implausível que a seleção ocorresse em situações de vida selvagem?”. Essa construção argumentativa inverte o ônus da prova sobre quem deve demonstrar se a seleção ocorre ou não em situações selvagens.

Se algum leitor da *Origem das espécies* ousar responder negativamente à pergunta feita por Charles Darwin, cuja resposta é apresentada como óbvia, caberá a esse corajoso indivíduo provar que o grande naturalista britânico estaria incorreto na hipótese que ele deduziu para explicar a evolução das espécies. Parece-nos, assim, que a seleção natural é, em Darwin, uma hipótese generalizante, que assume o valor cognitivo de lei, a ser demonstrada *a posteriori* por evidências empíricas.

Em um passo seguinte, para qualificar o conceito de “seleção”, Darwin utiliza o adjetivo “natural”, que, por sua vez, é por ele definido em oposição a “humano”.

[...] pode-se perguntar como as variedades, ou espécies incipientes, como prefiro chamá-las, vêm a ser convertidas em espécies perfeitamente definidas, que, na maioria das vezes, são muito mais diferentes entre si do que as variedades de uma mesma espécie; ou como surgem esses grupos de espécies que constituem o que chamamos de gêneros distintos, mais diferentes entre si do que espécies de um mesmo gênero. Tudo isso se segue, como veremos neste capítulo, da luta pela vida. Devido a essa luta, qualquer variação, por menor que seja, e não importa qual a sua causa, tenderá à preservação do indivíduo e será, em geral, herdada por sua prole, desde que se mostre vantajosa para um indivíduo de uma espécie em suas infinitamente complexas relações com outros seres orgânicos e com a natureza externa. Desse modo, os descendentes terão mais chances de sobreviver, pois, entre os muitos indivíduos de uma mesma espécie que nascem periodicamente, apenas um pequeno número não perece. A esse princípio, pelo qual cada variação mínima é preservada contanto que seja útil, dei o nome de seleção natural, para diferenciá-lo do poder humano de seleção. Vimos que o homem é capaz, pela seleção, de produzir excelentes resultados e adaptar seres orgânicos a seus próprios usos mediante o acúmulo de variações mínimas, porém úteis. É um poder que ele recebeu das mãos da natureza. Mas a seleção natural, como veremos daqui por diante, é um poder sempre pronto a atuar e é tão imensuravelmente superior aos débeis esforços humanos quanto as obras da natureza são superiores às da arte (DARWIN, 2028, p. 118).

Nesse excerto, a partir, especificamente, do trecho “a esse princípio, pelo qual cada variação mínima é preservada contanto que seja útil, dei o nome de seleção natural, para diferenciá-lo do poder humano de seleção”, podemos inferir que o recurso lógico empregado por Darwin para definir a acepção de “natural” da seleção foi por oposição à ideia de “artificial”, tendo como referência a seleção feita pelo homem.

Juntando os dois termos do conceito – “seleção” como lei e “natural” como oposto de artificial –, podemos entender que a seleção natural seria uma lei, que não é feita pelo homem, e que rege a evolução das espécies, ou, de forma mais resumida, uma lei natural da evolução das espécies. Conforme muito discutimos, com o desenvolvimento das ciências físicas, a partir do século XVI, prevaleceu uma concepção de ciência, implícita na obra de físicos como Galileu e Descartes, de que o objetivo da investigação científica seria a descrição das regularidades dos fenômenos sob a forma de leis naturais universais e sem exceções – “universal and exceptionless laws”, nos termos do Empirismo Lógico (CREATH, 2023). A lei da inércia, as

leis dos gases ideais e as leis da termodinâmica são exemplares das ciências físicas candidatas a assumirem o status de regularidades sem exceções. Entendemos que Darwin, quando enunciou o princípio da seleção natural, o fez guiado por objetivos científicos dessa magnitude. A noção de lei em Darwin tem, a nossos olhos, status cognitivo análogo àquele de lei em Newton, incluindo um de seus importantes termos teóricos definidores, a ideia de força. Vemos a seleção natural, portanto, em semelhança à lei da gravitação, um conjunto conceitual que se pretende universal, cujo entendimento não requer, necessariamente, o conhecimento de suas causas profundas (se mecânicas, por ação à distância, teológicas ou de outra ordem), embora sem a matematização rigorosa de Newton. Não queremos, com esse comentário, acusar Darwin de ter atribuído à seleção natural um caráter de força oculta, em repetição de crítica semelhante a que Leibniz reiteradas vezes fez contra Newton (ABRANTES, 2016, p. 141). Dado o nosso interesse nas discussões em torno da causalidade, tentamos apenas demonstrar, com essa reflexão, que o conceito de seleção natural, conforme apresentado por Darwin, carecia de maior aprofundamento em sua dimensão causal. Esse aprofundamento da fundamentação do conceito de seleção natural será, como vimos, buscado pelos evolucionistas que sucederam a Darwin, entre eles os pensadores da Síntese Evolutiva Moderna.

Os empiristas lógicos²⁶⁵, a partir das décadas de 1920 e 1930, viriam a pôr em xeque a possibilidade de que leis com o estatuto estrito de leis universais pudessem ser, de fato, inferidas. Se pensarmos nessas possibilidades no caso das ciências empíricas especiais, como as ciências biológicas, a esperança de que uma lei desfrute do valor cognitivo de regularidade, sem exceção, parece ser ainda mais remota (SOBER, 1988). Com a Síntese, no período em que estudamos, a seleção natural assumirá a acepção de uma diferença estatística nas chances de sobrevivência e reprodução das populações. Sob a perspectiva pura e simples da estatística, entendemos ser possível dizer que o conceito de seleção natural, nesse contexto, poderia ser entendido como um conceito operativo, com conteúdo semântico restrito: uma mera nomenclatura, instrumentalizada para se referir ao que é importante, em termos de conteúdo empírico, que seria a diferença estatística nas desigualdades de sobrevivência e reprodução. No entanto, é possível ir além da perspectiva estatística nessa reflexão, para imbuir no conceito conteúdo semântico adicional. Essa diferença estatística nas desigualdades de sobrevivência e reprodução é devida ao conjunto de fatores que compõem as condições do ambiente circundante

²⁶⁵ Antes dos empiristas lógicos, como mencionado ao longo do texto, David Hume (2013) e seus sucessores desenvolveram uma atitude radicalmente cética diante do conceito de lei. Desde então, filósofos da ciência de toda ordem, inclusive os empiristas lógicos, são forçados a, minimamente, conviver com as críticas humeanas quando fazem suas reflexões sobre leis.

das populações. A Síntese introduziu, assim, qualificações à lei da seleção natural, como cláusula *ceteris paribus* e condicionantes contingentes (tamanho populacional, migração, mudanças ambientais, acaso, etc.). Essa relação entre as condições ambientais e as alterações nas chances de sobrevivência poderia ser traduzida, por analogia a conceitos da física dos gases, pela ideia de “pressão ambiental” ou ideias semelhantes (“pressão seletiva”, etc.): “a demonstração matemática de que pequenas pressões seletivas, atuando sobre diferenças genéticas menores, podem resultar em mudanças evolutivas²⁶⁶” (GOULD, 2002, p. 504). Acreditamos que essa noção de pressão aproxima-se da noção de força por trás do conceito de seleção natural proposto na *Origem*.

Em períodos da Síntese Evolutiva Moderna posteriores ao que estudamos, outros evolucionistas tentaram atribuir outros valores cognitivos ao conceito de seleção natural, por vias qualitativas, sem recurso à estatística de populações. Esse é o caso, por exemplo, de Mayr (2002), que propõe substituir a aceitação de lei que Darwin atribuíra ao conceito pela noção de “processo”:

A conclusão de que esses indivíduos favorecidos foram selecionados para sobreviver requer uma resposta à pergunta: “Quem faz a seleção?” No caso da seleção artificial, é de fato o criador de animais ou plantas que seleciona certos indivíduos superiores para servir como o plantel da próxima geração. Mas, estritamente falando, não existe tal agente envolvido na seleção natural. O que Darwin chamou de seleção natural é, na verdade, um processo de eliminação²⁶⁷. (MAYR, 2002, p. 130)

Essa mudança qualitativa da ideia de seleção natural, conforme buscada por Mayr, inverte o questionamento de “quem seleciona” para “quem elimina”. No entanto, sob o ponto de vista da causalidade, ela não nos parece aportar novos elementos, carecendo, por exemplo, de referência aos entes materiais e mecanismos que estariam por trás desse processo. Seria, então, possível entender a seleção natural como sendo, ela própria, um mecanismo? Recuperemos a definição que adotamos para mecanismo, que é tributária do pensamento mecanicista moderno: mecanismo é a sistematização do conjunto de entidades do mundo material que, organizadas espaço-temporalmente, são capazes de desempenhar um processo que produz, como efeito, o fenômeno que se quer explicar (GLENNAN, 1996; WESTFALL, 1978). Entendemos não ser possível, com as teorias e evidências atualmente disponíveis,

²⁶⁶ Traduzido de GOULD, 2002, p. 594: “the mathematical demonstration that small selection pressures acting on minor genetic differences can render evolutionary change”.

²⁶⁷ Traduzido de MAYR, 2002, p. 130: “The conclusion that these favored individuals had been selected to survive requires an answer to the question, “Who does the selecting?” In the case of artificial selection, it is indeed the animal or plant breeder who selects certain superior individuals to serve as the breeding stock of the next generation. But, strictly speaking, there is no such agent involved in natural selection. What Darwin called natural selection is actually a process of elimination”.

discriminar e classificar, em um conjunto operacionalizável de categorias, os entes causais do mundo material²⁶⁸ que produziram as desigualdades de sobrevivência das populações; sistematizar a organização espaço-temporal desses entes; e categorizar e classificar as relações dinâmicas por eles entretidas. Assim, à pergunta sobre se a seleção natural pode ser considerada, atualmente, um mecanismo (no singular), podemos responder não. Os abundantes exemplos de usos, na literatura das ciências biológicas e da filosofia da biologia, de seleção natural como mecanismo nos parecem ser por variados motivos: não se levar em conta a noção de causalidade mecânica subjacente ao termo “mecanismo”; fazer-se uso do termo “mecanismo” em *lato sensu*, algo próximo de seu uso no senso comum, em desrespeito ao rigor conceitual exigido em textos científicos e filosóficos; negligência da necessidade de apresentação prévia da definição de mecanismo a ser usada; entre outros eventuais motivos. Isso não significa, no entanto, que neguemos a possibilidade de que, no futuro, uma definição rigorosa e precisa de seleção natural como mecanismo (que cumpra os requisitos de categorização e classificação dos entes causais e sistematização de suas relações) possa ser formulada, caso novos conceitos e evidências empíricas se tornem disponíveis.

Por fim, como centelha derradeira para reflexões futuras sobre o conceito de seleção natural, gostaríamos de levantar o questionamento sobre qual o valor cognitivo do conceito de seleção natural. Seria a seleção natural um conceito sintético, um enunciado hipotético-dedutivo definido *a priori* da experiência sensível, ou seria ela um conceito analítico, um enunciado empírico inferido *a posteriori* da experiência sensível? Há refinadas discussões sobre o valor cognitivo da seleção natural conduzidas após o período de desenvolvimento histórico da Síntese que estudamos²⁶⁹, inclusive aquelas em curso no âmbito da Síntese Estendida²⁷⁰, nas quais entendemos possa ser frutífero acrescentar uma dimensão de análise sobre a relação de anterioridade do conceito em relação à experiência sensível.

²⁶⁸ Esses entes têm sido comumente denominados de “agentes seletivos”. Trata-se de uma categorização que compreenderia todos os fatores causais do fenômeno evolutivo e que, de tão genérica, entendemos que tem seu valor cognitivo esvaziado.

²⁶⁹ Ver, por exemplo, SOBER, E. *The nature of selection: Evolutionary theory in philosophical focus*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

²⁷⁰ Ver, por exemplo, JABLONKA, Eva; LAMB, Marion J. *Evolution in four dimensions*, revised edition: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2014.

CONCLUSÃO

Nossas reflexões ao longo deste trabalho nos conduzem à conclusão de que os conceitos evolucionistas se desenvolveram ao longo do tempo desde a publicação da *Origem das Espécies*, por Charles Darwin, em 1859. Suas definições, abrangências explicativas e valores cognitivos modificaram-se com contribuições do próprio Darwin, enquanto ele ainda estava vivo, de seus contemporâneos e de pensadores da Síntese Evolutiva Moderna, dos quais destacamos Ronald Fisher, Sewall Wright, John Haldane e Theodosius Dobzhansky. Ainda hoje, as linhagens genealógicas dos conceitos evolucionistas continuam a se modificar, fruto do trabalho de cientistas e filósofos no âmbito da Síntese Evolutiva Estendida. Por isso, ao tratarmos desses conceitos, em qualquer recorte temporal que se julgue conveniente, seria impreciso, sob o ponto de vista epistemológico e metodológico, imaginarmos que seus fundamentos de validade e efetividade equivalem àqueles de quando eles foram originalmente propostos ou aos de hoje, cerca de 170 anos após a obra seminal de Darwin. Buscamos, portanto, nos desgarrar de uma abordagem analítica "fixista" ou anacrônica dos conceitos evolucionistas, em prol de uma reflexão sobre o desenvolvimento lógico-conceitual *pari passu* com as modificações ocorridas no período histórico que estudamos, da segunda metade do século XIX (a partir de 1859) até a decisiva fase inicial da Síntese Evolutiva Moderna (até por volta de 1940).

Entendemos ser atividade precípua do filósofo das ciências, em seu trabalho de sistematização epistemológica e de organização do mundo das ideias, revisitar e reconstruir o passado, para analisar conceitos normalizados no discurso e na práxis científica. Esse *aller-venir* do exercício reflexivo pode nos auxiliar a enxergar, de forma diferente, os problemas filosóficos e científicos com que ainda nos confrontamos e, eventualmente, lançar novas luzes sobre possíveis soluções. Foi com esse objetivo em mente que nos engajamos nesse exercício de estudo do desenvolvimento lógico-conceitual do evolucionismo, o qual, a esta altura, esperamos ter alcançado de forma minimamente satisfatória.

À guisa de conclusão, colocaremos em relevo alguns pontos que, estimulados pelas nossas reflexões, vislumbramos poderem ser eventualmente importantes para estimular análises filosóficas e pesquisas futuras. A Teoria da Evolução das Espécies por Seleção Natural, conforme enunciada por Darwin, apresentava relevante componente de fundamentação racionalista e hipotético-dedutivo e conceituações eminentemente qualitativas. Com a Síntese

Evolutiva Moderna e a integração da teoria darwiniana com a genética mendeliana e com a estatística de populações, o evolucionismo logrou fundamentar suas bases, adicionalmente, nos pilares da matematização e do mecanicismo, componentes estruturantes do modelo de causalidade das ciências empíricas modernas e contemporâneas. A conjugação desses recursos cognitivos com a possibilidade de experimentação empírica, sobretudo por meio dos estudos de genética laboratorial, conferiu componente empírico adicional na fundamentação da efetividade, do valor preditivo e da testabilidade dos princípios da variação e da hereditariedade. Em consequência, toda a rede de conceitos do evolucionismo teve sua validade reforçada ao final da Síntese Evolutiva Moderna.

Esse reforço geral da rede de conceitos do qual o modelo explicativo evolucionista passou a desfrutar desde, pelo menos, a fase inicial da Síntese Evolutiva Moderna pode nos conduzir ao equívoco – que nos parece, com efeito, comum ainda hoje entre os evolucionistas – de pensar que a teoria evolutiva é um monolito conceitual homogêneo e que sua fundamentação se faça por meio de uma validação em “pacote” de seus conceitos, com uso das mesmas ferramentas intelectuais e critérios racionalistas e empiristas de avaliação para todas as ideias. Essa análise de validade em bloco, motivada, por vezes, por uma confiança irrefletida no poder explicativo da teoria como um todo, pode fazer incorrer no erro inadvertido de julgar que os diferentes conceitos estão sedimentados sob as mesmas bases racionalistas e empiristas, bem como que esses conceitos teriam, todos, iguais valores cognitivos, sobretudo no que concerne às suas efetividades (adequação empírica).

Tentamos demonstrar ao longo deste trabalho que os principais conceitos evolucionistas – ancestralidade comum, evolução ao longo do tempo, variação populacional, hereditariedade, seleção natural e adaptação – assentam-se sobre diferentes evidências empíricas e alicerces lógico-dedutivos. Os princípios de ancestralidade comum e evolução, em ambas as vias (anagênese e cladogênese), recorrem à arborização da diversidade da vida, por meio de representações imagéticas construídas pela filogenia, para validar o pressuposto, empiricamente inferido e racionalmente deduzido, de que as espécies têm ancestralidade comum e que mudam ao longo do tempo. A variação populacional e a hereditariedade desfrutam de estratégias de validação, demonstração e testabilidade muito próximas das utilizadas no âmbito das ciências físicas, na medida em que podem recorrer à matematização dos fenômenos, à sistematização por meio de modelos mecanicistas e a diferentes alternativas de experimentação para a verificação de relações causais estabelecidas e para a indução de novas hipóteses e regularidades. A seleção natural e a adaptação, por sua vez, que, em Darwin, em termos de

valores cognitivos, conformavam-se como princípios normativos inferidos, por analogia, a partir de observações de plantas e rebanhos de animais, complementados por conceituações provenientes da Economia, com a Síntese Evolutiva Moderna ganharam robustos arcabouços da estatística de populações e uma fundamentação lógica com base em um modelo de causalidade probabilística. Dessas reflexões sobre a história epistemológica dos conceitos evolucionistas podemos chegar à importante conclusão de que eles possuem diferentes valores cognitivos, que as conclusões por eles permitidas possuem diferentes alcances e limites e, sobretudo, que a solução para os problemas epistemológicos que eles continuam a enfrentar após a Síntese precisa de ser buscada por diferentes caminhos intelectuais.

Com essas conclusões em mente, esperamos que as reflexões que procedemos, olhando para o passado, nos permitam – a nós filósofos e cientistas preocupados com os problemas evolucionistas – ajustar nosso olhar para o futuro. Nessa conjunção entre passado e futuro, nossas reflexões nos chamam atenção para alguns aspectos. Constatamos, ao longo de nossa jornada, a importância da matematização para a fundamentação de conceitos como vantagem competitiva, sobrevivência, seleção natural, adaptação, entre outros. Vemos, por isso, com preocupação a tendência, entre os cientistas, a partir da segunda metade do século XX, a uma relativa desvalorização da matematização dos conceitos evolucionistas (diríamos até, em alguns casos, aversão). As razões que poderiam justificar esse descrédito no potencial da matemática são, decerto, diversas. Pode-se encontrar justificativa, por exemplo, em preferências de ordem teórica, como a escolha de correntes de investigação biológica que favorecem uma abordagem qualitativa do evolucionismo, estimulada por influentes evolucionistas. No período após 1940, a Síntese Evolutiva Moderna passou por uma fase de “radicalização” (“hardening”), nas palavras de Provine e Gould (GOULD, 2002, p. 505), que alçou a seleção natural ao patamar de agente único da mudança evolutiva e que amortizou a influência de algumas das abordagens da primeira fase da Síntese, entre elas a importância da matematização. Pode-se encontrar justificativas, também, em problemas de ordem educacional, decorrentes de um desinvestimento na aplicação de métodos quantitativos na educação universitária de biólogos. Ao que nos parece, essa carência de investimentos no fomento a uma corrente de pesquisa em “matemática biológica” não é nova, tampouco exclusiva de um ou outro país, dado que mesmo Fisher já conclamava pelo desenvolvimento de uma “tradição de trabalho matemático dedicado a problemas biológicos, comparável às pesquisas das quais um físico matemático pode lançar

mão na resolução de dificuldades específicas²⁷¹" (FISHER, 1930, Prefácio X). A nosso juízo, nos parece ser incomensurável o potencial que a matemática tem para nos oferecer auxílio na resolução de problemas imbricados e na inferência de padrões em sistemas multicausais, multiníveis, nos quais a apreensão direta de regularidades é epistemologicamente extremamente difícil, como é o caso dos sistemas biológicos. Olhando para o futuro, temos a esperança de que a pesquisa e a reflexão filosófica em biologia possam se beneficiar de uma revitalização dos trabalhos nessa direção, com uso de novas ferramentas computacionais, de dispositivos de inteligência artificial e, sobretudo, com o desenvolvimento, com o auxílio dessas ferramentas, de uma nova matemática, capaz de dar conta da extensa e imbrincada rede de processos causais dos fenômenos biológicos. Na linha dessa reflexão, concordamos com Łukasz Huminiecki (2020, p. 2) quando ele afirma que:

O ritmo do progresso científico depende não apenas de financiamento ou de tecnologias que o viabilizem, mas também, e de forma igualmente importante, da qualidade da educação e da abrangência da formação que os cientistas recebem. A especialização excessiva pode ser prejudicial a longo prazo. Pode-se argumentar que, antes de se tornar cientista, em qualquer disciplina, é desejável conhecer um pouco de todas as ciências, de matemática (pré-cálculo e cálculo básico) e de filosofia²⁷²" (HUMINIECKI, 2020, p. 2).

Esperamos, por isso, que, no futuro, cada vez mais novas mentes possam se dedicar a essa zona de promissora conexão entre ciências biológicas, matemática, química, física e ciências computacionais, com abundantes benefícios potenciais para nosso entendimento daquele que é “o mistério dos mistérios”, a origem da diversidade dos seres vivos na Terra.

Em nossas reflexões, pudemos constatar, também, uma aproximação gradual dos conceitos evolucionistas com os princípios da causalidade mecânica e com a epistemologia verificacionista que caracterizavam as ciências do período. A inferência, ao longo do século XX, dos mecanismos de interação mecânica das causas na produção do efeito de variação e hereditariedade ampliou, indubitavelmente, o valor explicativo desses conceitos. Com a genética molecular, portanto, variação e hereditariedade passam a possuir uma existência empírica espaço-temporal identificável, demonstrável e falseável pela via experimental. A experiência sensível passa a ser não somente fonte de ilustração de hipóteses deduzidas, mas

²⁷¹ Traduzido de FISHER, 1930, Prefácio X: "[...] a tradition of mathematical work devoted to biological problems, comparable to the researches upon which a mathematical physicist can draw in the resolution of special difficulties".

²⁷² Traduzido de HUMINIECKI, 2020, p. 2: "The rate of scientific progress depends not only on funding or enabling technology, but equally on the quality of education and the breadth of training that scientists receive. Excessive specialization may be inhibitory in the long term. Arguably, one should know a bit of all sciences, mathematics (precalculus and basic calculus), and philosophy before becoming a scientist in any one discipline".

de indução de regularidades generalizáveis à condição de leis. É possível que esse raciocínio que encadeamos possa causar desconforto lógico, até mesmo emocional, em indivíduos que se formaram e se desenvolveram intelectualmente sob a égide de uma discussão metafísica em torno dos riscos para o evolucionismo trazidos pelo fisicalismo e formas extremas de reducionismo das ciências biológicas às leis da física fundamental. Por honestidade intelectual, devemos confessar que categorizações estereotipizantes desse tipo nos preocuparam pouco. Distante delas, buscamos realizar uma reflexão sobre os conceitos evolucionistas livre da rigidez de categorizações metafísicas apriorísticas. Nossa abordagem, ao longo deste trabalho, privilegiou as discussões de ordem epistemológica, preocupadas com as vias de acesso a conhecimentos que contribuam para os fins de investigação científica e de resolução de problemas empíricos. Arborizações da diversidade das espécies por representações da filogenia podem ser metafisicamente problemáticas, se entendidas como essencialistas, porém são epistemológica e cientificamente úteis para fins de investigação empírica. Modelos mecanicistas podem ser metafisicamente problemáticos, se entendidos como inexoravelmente deterministas, porém são epistemológica e cientificamente úteis para fins de investigação empírica. Leis naturais podem ser metafisicamente problemáticas, se entendidas como reducionistas, porém são epistemológica e cientificamente úteis para fins de investigação empírica. Esses três recursos cognitivos – representações, mecanismos e leis – foram utilizados por Darwin, foram amplamente reforçados pela Síntese Evolutiva Moderna, e, a despeito de críticas que receberam ao longo do século XX, permanecem sendo importantes áreas de investigação no âmbito da Síntese Estendida. A ampliação do poder imagético da árvore da vida com representações computacionais tri e tetradimensionais e os desenvolvimentos conceituais do Novo Mecanicismo nos deixam esperançosos sobre a continuidade do aprofundamento da fundamentação da validade dos conceitos evolucionistas por meio dessas estratégias.

Sob uma lógica de mecanização das causas, novas e revolucionárias vias de pesquisa, de desenvolvimento tecnológico e de intervenções experimentais no campo da genética molecular foram e continuam sendo abertas, a exemplo da técnica de edição genética conhecida como CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*). Entendemos ser importante nos dedicarmos, cada vez mais, às reflexões sobre o papel dessas novas técnicas como mecanismos a influenciar a cadeia causal mutação-fixação-evolução, sobre o lugar na filogenia e na epistemologia do evolucionismo de novas linhagens de organismos que venham a emergir com auxílio desses mecanismos (ademais, por óbvio, das reflexões de ordem moral

e ética), entre outras discussões. A nosso juízo, reflexões desse tipo requerem que nos dispamos das categorias analíticas restritivas da metafísica para nos vestirmos de uma ciência e de uma filosofia da ciência dirigidas à resolução de problemas.

Encerramos este trabalho em diálogo franco com a citação de Wittgenstein que o introduz. Nossas pretensões neste trabalho não foram além de buscar fazer uma pausa em nossa ânsia por descoberta de conhecimento doutrinário novo e verdadeiro sobre o evolucionismo, para privilegiar, pelo menos por um momento, a disciplina de reflexão sobre os fundamentos de verdade de nossos julgamentos racionais. Nossa reflexão filosófica esteve, portanto, a serviço da revisão de nosso entendimento prévio sobre o evolucionismo. Ao longo de sua trajetória até estas linhas derradeiras, caso o leitor tenha, em algum momento, sido suscitado a reavaliar ao menos um de seus julgamentos previamente concebidos sobre os conceitos evolucionistas, e buscar, nesse retorno crítico à origem, refletir sobre as razões pelas quais os considera válidos e neles acredita, entendemos que nossos esforços para escrever este trabalho tenham valido a pena.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fontes Primárias

DARWIN, Charles. **Origem das espécies**: ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida. Tradução (1ª edição): Pedro Paulo Pimenta. São Paulo: Ubu Editora, 2018.

DOBZHANSKY, Theodosius. **Genetics and the Origin of Species**. New York: Columbia University Press, 1937.

FISHER, Ronald Aylmer. **The genetical theory of natural selection**. Oxford: Clarendon Press, 1930.

HALDANE, John Burdon Sanderson. **The causes of evolution**. New Jersey: Princeton University Press, 1990.

WRIGHT, Sewall. Evolution in Mendelian populations. **Genetics**, Chicago, v. 16, n. 2, p. 97, 1931.

Fontes Secundárias

ABRAMS, M. Probability and chance in mechanisms. *In*: GLENNAN, S. & ILLARI, P. (eds.) **The Routledge handbook of mechanisms and mechanical philosophy**. Abingdon: Routledge, 2018, p.169-184.

ABRANTES, Paulo César Coelho (org.). **Filosofia da biologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora PPGFIL-UFRRJ, 2018.

ABRANTES, Paulo. **Método e ciência**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2014.

ABRANTES, Paulo C. **Imagens de natureza, imagens de ciência**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2016.

AGUTTER, Paul S. et WHEATLEY, Denys N. **Thinking about life**: the history and philosophy of biology and other sciences. Springer Science & Business Media, 2008.

ALLEN, Barry. Samuel Butler's contributions to biological philosophy. **Common Knowledge**. Duke University Press, v. 29 (2), p. 251-279, 2023.

APPOLINARIO, Fábio. **Metodologia da Ciência**: filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

ARAÚJO, Aldo Mellender de. O salto qualitativo em Theodosius Dobzhansky: unindo as tradições naturalista e experimentalista. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 8, p. 713-726, 2001.

AYALA, F. J. Beyond Darwinism? The Challenge of Macroevolution to the Synthetic Theory of Evolution. **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**, Cambridge University Press, v. 1982, Issue (2), p. 274-291, 1982.

BAEZ, John C. The fundamental theorem of natural selection. **Entropy**, v. 23, n. 11, p. 1436, 2021.

BEEBEE, Helen, HITCHCOCK, Christopher, MENZIES, Peter Charles (ed.). **The Oxford handbook of causation**. New York: Oxford University Press, 2009.

BERRY, Robert James. **Neo-Darwinism**. London: Edward Arnold (Publishers) Limited, 1982.

BIZZO, Nélío. A teoria genética de Charles Darwin e sua oposição ao mendelismo. **Filosofia e História da Biologia**, v. 3, p. 317-333, 2008.

BIZZO, Nelio et EL-HANI, Charbel N. Darwin and Mendel: evolution and genetics. **Journal of Biological Education**, v. 43, no 3, p. 108-114, 2009.

BOWLER, Peter J. **Evolution: The History of an Idea**. 25th Anniversary Edition, With a New Preface. 1st ed. Berkeley: University of California Press, 2009.

BRAILLARD, Pierre-Alain; MALATERRE, Christophe. **Explanation in biology: an inquiry into the diversity of explanatory patterns in the life sciences**. Springer, 2015.

BROOKER, Robert J. **Genetics: analysis & principles**. 8th Edition. New York: McGraw-Hill Rental Program, 2024.

BURKHARDT, JR, Richard W. **The spirit of system: Lamarck and evolutionary biology**. Harvard University Press, 1977.

BUTLER, Samuel. **Life and Habit**. London: Jonathan Cape, 1878. Disponível em: <https://www.gutenberg.org/files/6138/6138-h/6138-h.htm>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CAMPBELL, Donald T. **Methodology and epistemology for social sciences: Selected papers**. University of Chicago Press, 1988.

CAPONI, Gustavo. ¿ Fue Darwin el Newton de la brizna de hierba? **Principia: an international journal of epistemology**, v. 16, n. 1, p. 53-79, 2012.

CAREY, Toni Vogel. That Mystery of Mysteries. **Philosophy Now**, v. 105, p. 18-20, 2014.

CARNAP, Rudolf. **Introduction to symbolic logic and its applications**. Courier Corporation, 2012.

CARNAP, Rudolf. Testability and Meaning, **Philosophy of Science**, v. 3: 419–71, 1936.

CARROLL, John W. “Laws of Nature”. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2024 (Winter Edition). In: In ZALTA, Edward N.; NODELMAN, Uri (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2024/entries/laws-of-nature/>. Acesso em: 5 mai 2025.

CESCHIM, Beatriz; DE OLIVEIRA, Thais Benetti; DE ANDRADE CALDEIRA, Ana Maria. Teoria Sintética e Síntese Estendida: uma discussão epistemológica sobre articulações e afastamentos entre essas teorias. **Filosofia e História da Biologia**, v. 11, n. 1, p. 1-29, 2016.

CHAKRAVARTTY, Anjan. "Scientific Realism". **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2017 (Summer Edition). In: Edward N. Zalta (ed.). Disponível em <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/scientific-realism/>. Acesso em: 10 set de 2024.

CHARBONNAT, Pascal. **Darwin et les continuismes de ses prédécesseurs**, 2009. Disponível em: <https://shs.hal.science/halshs-00349584v1>. Acesso em: 30 mai 2023. HAL Id: halshs-00349584.

CHEDIAK, Karla. **Filosofia da biologia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2008.

CREATH, Richard. "Logical Empiricism", **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2023 (Winter Edition). In: Edward N. Zalta & Uri Nodelman (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2023/entries/logical-empiricism/>. Acesso em: 16 de abr. 2025.

CROMBIE, Alistair Cameron. Augustine to Galileo. The History of Science, 400-1650. **British Journal for the Philosophy of Science**, v. 4, n. 14, 1953.

CORSI, Pietro. Lamarck: **Genèse et enjeux du transformisme (1770-1830)**. CNRS Éditions via Open Edition, 2020.

DARWIN, Charles. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. 5th edition. London: John Murray, 1869. Disponível em: <https://darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F387&viewtype=text&pageseq=1>. Acesso em: 3 de fev 2024.

DARWIN, Charles. **The descent of man, and selection in relation to sex**. D. Appleton, 1872.

DARWIN, Charles. **A variação de animais e plantas sob domesticação**. New York: Cambridge United Press, 2010.

DE FARIA, Maria do Carmo Bettencourt. O que era para ser ensaio sobre uma nova leitura da essência. **Clássica-Revista Brasileira de Estudos Clássicos**, p. 55-61, 1992.

DE SALLES ABREU, R. S. **A Nova Filosofia Mecânica: uma Análise Histórica e Filosófica de suas Ideias e de sua Representatividade na Filosofia da Ciência Contemporânea**. Orientador: Edgar da Rocha Marques. 2023. 430 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

DESCARTES, René. **Princípios de Filosofia**. Edições 70, 2006.

DESCARTES, René. **Discours de la méthode**. Paris: Flammarion, 2020.

DESMOND, A. and MOORE, J. **Darwin**. London: Michael Joseph, 1991.

DETLEFSEN, Karen. Descartes on the Theory of Life and Methodology in the Life Sciences. **Early modern medicine and natural philosophy**, p. 141-171, 2016.

DOBZHANSKY, Theodosius. Mendelism, Darwinism, and evolutionism. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 109, no 4, p. 205-215, 1965.

DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in Biology Makes Sense except in the Light of Evolution. **The American Biology Teacher**, v. 35, no. 3, p. 125–129, 1973.

DOMINY, Nathaniel J. e LUCAS, Peter W. Ecological importance of trichromatic vision to primates. **Nature**, v. 410, n. 6826, p. 363-366, 2001.

DURANT, Will. **A História da Filosofia**. Coleção Os pensadores. Rio de Janeiro: Editora Nova Cultural, 1996.

EAGLETON, Terry. **Teoria da literatura**: uma introdução. 6ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 1983.

ELDER-VASS, Dave. **The causal power of social structures**: Emergence, structure and agency. Cambridge University Press, 2010.

EL-HANI, Charbel N. Mendel in genetics teaching: some contributions from history of science and articles for teachers. **Science & Education**, vol. 24, p. 173-204, 2015.

FADAIE, Gholamreza. The influence of classification on world view and epistemology. *In*: In SITE 2008: **Informing Science & IT Education Conference**, 2008, Varna, Bulgaria. **Anais eletrônicos**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gholamreza-Fadaie/publication/255577668_The_Influence_of_Classification_on_World_View_and_Epistemology/links/0c96053b8122fb7300000000/The-Influence-of-Classification-on-World-View-and-Epistemology.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024.

FARIA, Felipe. Georges Cuvier e a evolução de suas ideias: uma comparação (Variorum) entre o Discurso Preliminar (Recherches sur les ossements fossiles) de 1812 e o Discurso sobre as revoluções sobre a superfície do Globo de 1825. **Vita Scientia**, v. 1302, p. 42, 2020.

FUTUYMA, Douglas J. **Science on trial**: the case for evolution. New York, 1983.

FUTUYMA, D.J., **Evolutionary Biology**, 3rd ed., Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1998.

FUTUYMA, Douglas J. Evolutionary biology today and the call for an extended synthesis. **Interface focus**, v. 7, no 5, p. 20160145, 2017.

GALILEI, Galileu. **O ensaiador** (Coleção os Pensadores). São Paulo: Abril Cultural, (originalmente publicado em 1623), 1983.

GLENNAN, S. Mechanisms and The Nature of Causation. **Erkenntnis**, v. 44, p. 49–71, 1996.

GRENE, Marjorie; DEPEW, David. **The philosophy of biology: an episodic history.** Cambridge University Press, 2004.

GREENE, John C. **The Death of Adam: Evolution and Its Impact on Western Thought.** Ames: Iowa State University Press, 1959.

GREHAN, John R.; AINSWORTH, Ruth. Orthogenesis and evolution. **Systematic zoology**, v. 34, no 2, p. 174-192, 1985.

GOULD, Stephen Jay. **The structure of evolutionary theory.** Harvard University Press, 2002.

GOTTHELF, Allan; LENNOX, James G. (ed.). **Philosophical issues in Aristotle's biology.** Cambridge University Press, 1987.

HALDANE, John Burdon Sanderson. A mathematical theory of natural and artificial selection, part V: selection and mutation. In: **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society.** Cambridge University Press, 1927. p. 838-844.

HALDANE, John Burdon Sanderson. Mathematical Darwinism: A discussion of the genetical theory of natural selection. **The Eugenics Review**, v. 23, no 2, p. 115, 1931.

HALDANE, John Burdon Sanderson. Suggestions as to quantitative measurement of rates of evolution. **Evolution**, p. 51-56, 1949.

HALDANE, John Burdon Sanderson. The relation between density regulation and natural selection. Proceedings of the Royal Society of London. **Series B-Biological Sciences**, v. 145, no 920, p. 306-308, 1956.

HEMPEL, Carl G. Philosophy of natural science. **British Journal for the Philosophy of Science**, v. 18, no 1, 1967.

HEMPEL, Carl G. et al. **Aspects of scientific explanation.** New York: Free press, 1970.

HERBERT, Sandra. Darwin, Malthus, and selection. **Journal of the History of Biology**, p. 209-217, 1971.

HERBERT, Sandra. Darwin as a geologist. **Scientific American**, v. 254, no 5, p. 116-123, 1986.

HONDERICH, Ted (ed.). **The Oxford companion to philosophy.** OUP Oxford, 2005.

HUME, David. **Investigação sobre o entendimento humano.** Leya, 2013.

HULL, David L. **Darwin and his critics: The reception of Darwin's theory of evolution by the scientific community.** Cambridge: Harvard University Press, 1973.

HULL, David L. **Philosophy of biological science.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974.

HULL, David L.; RUSE, Michael (eds.). **The Philosophy of Biology.** New York: Oxford University Press, 1998.

HUMINIECKI, Łukasz. A Contemporary Message from Mendel's Logical Empiricism. **BioEssays**, v. 42, no 9, p. 2000120, 2020.

HUXLEY, Thomas Henry. Darwin on the origin of Species. **Westminster Review**, p. 541–70, 1860. Disponível em: <http://darwin-online.org.uk/content/frameset?viewtype=text&itemID=A32&pageseq=1>. Acesso em: 23 fev. 2024.

HUXLEY, Thomas Henry. American Addresses: With a Lecture on the Study of Biology. **Lecture III: The demonstrative evidence of evolution**. New York, 1888. Disponível em The Project Gutenberg: https://www.gutenberg.org/cache/epub/16136/pg16136-images.html#LECTURE_III. Acesso em: 13 mai. 2024.

JABLONKA, Eva; LAMB, Marion J. **Evolution in four dimensions**: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life. Revised edition. Cambridge: MIT Press, 2014.

JABLONSKI, Nina G.; CHAPLIN, George. The evolution of human skin coloration. **Journal of human evolution**, v. 39, no 1, p. 57-106, 2000.

KANT, Immanuel. **Prolegomena to any future metaphysics**: That Will Be Able to Come Forward as Science with Selections from the Critique of Pure Reason. Cambridge Texts in the History of Philosophy. Cambridge University Press, 2004.

KANT, Immanuel. **Critique de la raison pure**. E. Flammarion, 1905. Disponível em: https://www.cjoint.com/doc/20_08/JHnjX4bUM3V_Critique-de-la-raison-pure-IMAGE.pdf. Acesso em: 3 fev. 2023.

KIRK, Geoffrey Stephen; RAVEN, John Earle; SCHOFIELD, Malcolm. **The presocratic philosophers**: A critical history with a selection of texts. Cambridge University Press, 1983.

KLITZKE, Andresa. Surgimento da definição de conhecimento como crença verdadeira justificada. **Gavagai-Revista Interdisciplinar de Humanidades**, v. 6, n. 2, p. 101-119, 2019.

KLUG, Aaron. Rosalind Franklin and the discovery of the structure of DNA. **Nature**, v. 219, n. 5156, p. 808-810, 1968.

KOCHIRAS, Hylarie. “Locke’s Philosophy of Science”. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2023 (Winter Edition). In: Edward N. Zalta & Uri Nodelman (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2023/entries/locke-philosophy-science/>. Acesso em: 20 abr. 2024.

KOJMAN-ROZEN, Simcha. Time and Emergence in Victorian Scientific Theories: Lyell, Darwin and Maxwell. **Logic and Philosophy of Science**, IX, p. 285-293, 2011.

KOYRÉ, Alexandre, et al. **Études galiléennes**. Paris: Hermann, 1966.

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 13ª edição. São Paulo: Perspectiva, 2017.

LAKATOS, I. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. *In*: LAKATOS, I & MUSGRAVE, A (ed.), **Criticism and the Growth of Knowledge**, Cambridge: Cambridge University Press, 1970.

LAMARCK, Jean Baptiste Pierre Antoine. **Filosofia zoológica**. Editora Unesp, 2022.

LAMBERT, D. La réception du darwinisme dans l'Église catholique: histoire et actualité. **Transversalités**, v. 114, n. 2, p. 119-134, 2010.

LARSEN, Brendan B., MILLER, Elizabeth C., RHODES, Matthew K., et al. Inordinate fondness multiplied and redistributed: the number of species on earth and the new pie of life. **The Quarterly Review of Biology**, v. 92, n 3, p. 229-265, 2017.

LEAR, Jonathan. **Aristotle: the desire to understand**. Cambridge University Press, 1988.

LENNOX, James, "Aristotle's Biology", **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2025 (Spring Edition). *In*: Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2025/entries/aristotle-biology/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

LEWONTIN R.C. **A tripla hélice: gene, organismo e ambiente**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

LINNAEUS, Carolus. **Systema naturae**. Stockholm: Laurentii Salvii, 1758.

LORENZANO, Pablo. Fundamental laws and laws of biology. *In*: Gerhard Ernst & Karl-Georg Niebergall, **Philosophie der Wissenschaft – Wissenschaft der Philosophie**. Festschrift für C.Ulises Moulines zum 60. Geburtstag. Mentis. p. 129-155, 2006.

LOSEE, John. **Theories of causality: from antiquity to the present**. Transaction Publishers, 2011.

LOSEE, John. **A Historical Introduction to the Philosophy of Science**. New York: Oxford University Press, 2001.

LOVE, Alan C. Typology reconfigured: from the metaphysics of essentialism to the epistemology of representation. **Acta biotheoretica**, v. 57, p. 51-75, 2009.

LYELL, Charles Sir. **Principles of geology: The modern changes of the earth and its inhabitants considered as illustrative of geology**. Good Press, 2023.

LYELL, Charles. **Geological Evidence of the Antiquity of Man, 1863**. Routledge, 2004.

MACFADDEN, Bruce J. Fossil horses: evidence for evolution. **Science**, v. 307, n.5716, p. 1728-1730, 2005.

MACHAMER, P.; DARDEN, L.; CRAVER, C. Thinking about mechanisms. *In*: DARDEN, L. (Ed.) **Reasoning in biological discoveries**. Essays on mechanisms, interfiled relations, and anomaly resolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

MALTHUS, Thomas. **An Essay on the Principle of Population**. Electronic Scholarly Publishing Project. 1998. Disponível em: <http://www.esp.org/books/malthus/population/malthus.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2023.

MARCO, Francisco Javier Garcia; NAVARRO, Miguel Angel Esteban. On some contributions of the cognitive sciences and epistemology to a theory of classification. **KO Knowledge Organization**, v. 20, no 3, p. 126-132, 1993.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A herança de caracteres adquiridos nas teorias “evolutivas” do século XIX, duas possibilidades: Lamarck e Darwin. **Filosofia e História da Biologia**, v. 10, no 1, p. 67-84, 2015.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Lamarck e a progressão da escala animal. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, no 3, p. 569-586, 2013.

MAYR, Ernst. **The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance**. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

MAYR, Ernst. **What evolution is**. London: Phoenix, 2002.

MAYR, Ernst; PROVINE, William B. (Ed.). **The evolutionary synthesis: perspectives on the unification of biology**. Harvard University Press, 1980.

MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Nino. **Evolução: o sentido da biologia**. São Paulo: Unesp, 2005.

MORANGE, Michel. **A History of Biology**. Princeton University Press, 2016.

MULLER, Hermann J. Our load of mutations. **American journal of human genetics**, v. 2, n. 2, p. 111, 1950.

MUMFORD, Stephen; ANJUM, Rani Lill. **Causation: a very short introduction**. OUP Oxford, 2013.

NIKOURAVAN, Misha. A Short History of Imaginary Numbers: Mathematics. **International Journal of Fundamental Physical Sciences**, v. 9, no 1, p. 1-5, 2019.

PEARL, Judea. **Causality**. Cambridge University Press, 2009.

POPPER, Karl Raimund. **A Lógica da Pesquisa Científica**. 2ª edição. São Paulo: Cultrix, 2013.

POPPER, Karl Raimund. Part 1. *In*: David Miller (ed.). **Popper Selections**, 1985.

RASBURY, E. Troy; COLE, Jennifer M. Directly dating geologic events: U-Pb dating of carbonates. **Reviews of Geophysics**, v. 47, no 3, 2009.

RIDLEY, Mark. **Evolution**. 3ª edição. Blackwell Publishing, 2004.

ROUSSEAU, Jean-Jacques, et al. **Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes**. Textes du domaine public, PhiloSophie, p. 1-190, 2009. Disponível em: http://gaisavoir.free.fr/PhiloSophie/file/rousseau_discours_inegalite.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

RUIZ, João Álvaro. **Metodologia científica**: guia para eficiência nos estudos. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 1996.

RUSE, Michael E. **Kant and evolution**. Pantheon, v. 274, p. 402-415, 1970.

RUSE, Michael E. Are there laws in biology? **Australasian Journal of Philosophy**, v. 48, no 2, p. 234-246, 1970.

RUSE, Michael E. **Philosophy of biology today**. New York: State University of New York Press, 1988.

SANTANA, Douglas Nascimento; TIDON, Rosana; SIMON, Samuel J. As bases fisicalistas do evolucionismo na teoria sintética da evolução. **Revista Helius**, v. 3, no 2, fasc. 3, p. 1392-1416, 2020.

SARKAR, Sahotra. Evolutionary Theory in the 1920s: The Nature of the 'Synthesis'. **Philosophy of Science**, v. 71, no. 5, p. 1215–26, 2004. Disponível online em JSTOR: <https://doi.org/10.1086/425237>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SAUQUET, Hervé; HO, Simon YW; GANDOLFO, Maria A., et al. Testing the impact of calibration on molecular divergence times using a fossil-rich group: the case of Nothofagus (Fagales). **Systematic Biology**, v. 61, no 2, p. 289-313, 2012.

SCHEEL-YBERT, Rita. Considerações sobre o método de datação pelo carbono-14 e alguns comentários sobre a datação de sambaquis. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, n. 9, p. 297-301, 1999.

SCHOEN, Edward L. Clocks, God, and scientific realism. **Zygon**, v. 37, n 3, p. 555-580, 2002.

SIMON, Samuel; SANTANA, Ademir. Causation, Symmetry and Time Irreversibility. In: BALSAS, A.; NOBRE, B. (Org.). **Axioma Studies in Philosophy of Nature and in Philosophy and History of Science**. 1ª edição. Lisboa: Axioma - Publicações da Faculdade de Filosofia, v., p. 105-122, 2020.

SMART, John Jamieson Carswell. **Philosophy and scientific realism**. Routledge, 2014.

SMITH, Norman Kemp. **Immanuel Kant's Critique of Pure Reason**. London: Macmillan and Co., 1929.

SOBER, Elliott. Evolution, population thinking, and essentialism. **Philosophy of Science**, v. 47, no 3, p. 350-383, 1980.

SOBER, Elliott. **The nature of selection**: Evolutionary theory in philosophical focus. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

SOBER, Elliott (ed.). **Conceptual issues in evolutionary biology**. Cambridge: MIT Press, 1994.

SOBER, Elliott. **Philosophy of biology**. Routledge, 2018.

SOBER, Elliott., Confirmation and Lawlikeness, **Philosophical Review**, v. 97, p.93–98, 1988.

SOKAL, Robert R. Statistical methods in systematics. **Biological Reviews**, v. 40, no 3, p. 337–389, 1965.

SPENCER, Herbert. **The Principles of Biology**: Volume 1. Outlook Verlag, 2020.

STANFORD, P. Kyle. Darwin's Pangenesis and the Problem of Unconceived Alternatives. **The British journal for the philosophy of science**, v. 57, n. 1, (Mar, 2006), p.121–144, 2006.

THORNTON, Stephen, "Karl Popper", **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2023 (Winter Edition). In: Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2023/entries/popper/>. Acesso em: 16 mai. 2025.

ULLER, Tobias; LALAND, Kevin N (Ed.). **Evolutionary Causation**: Biological and Philosophical Reflections. Cambridge: MIT Press, 2019.

VAN FRAASSEN, Bas C. **The scientific image**. Oxford University Press, 1980.

VAN FRAASSEN, Bas. Armstrong on Laws and Probabilities, **Australasian Journal of Philosophy**, v. 65, p. 243–259, 1987.

WALSH, Denis M; LEWENS, Tim; ARIEW, André. The trials of life: Natural selection and random drift. **Philosophy of Science**, v. 69, n. 3, p. 452–473, 2002.

WEISMANN, August. **The germ-plasm**: a theory of heredity. Scribner's, 1893.

WEISMANN, August. Germinal selection. **The Monist**, p. 250–293, 1896.

WESTFALL, R.S. **The construction of modern science**. Mechanisms and mechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

WHITE, Paul. **Thomas Huxley**: Making the man of science. Cambridge University Press, 2003.

WHITEHEAD, Alfred North. **Science and the modern world**. Macmillan, 1925.

WINSOR, Mary P. The creation of the essentialism story: an exercise in metahistory. **History and Philosophy of the Life Sciences**, p. 149–174, 2006.

WILLIAMSON, Timothy. **The philosophy of philosophy**. John Wiley & Sons, 2021.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Philosophical investigations**. Wittgenstein. Macmillan, 1968.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Tractatus logico-philosophicus**. 2023. E-book disponível online no Project Gutenberg: <http://public-library.uk/pdfs/9/292.pdf>. Acesso em 10 jan. 2025.

WRIGHT, Sewall. The genetical theory of natural selection: a review. **Journal of Heredity**, v. 21, no 8, p. 349-356, 1930.

WRIGHT, Sewall. Statistical methods in biology. **Journal of the American Statistical Association**, v. 26, n. 173A, p. 155-163, 1931.

WRIGHT, Sewall. **Statistical genetics and evolution**. 1942. Disponível online no Project Euclid: <https://projecteuclid.org/journals/bulletin-of-the-american-mathematical-society/volume-48/issue-4/Statistical-genetics-and-evolution/bams/1183504254.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

WRIGHT, Sewall, et al. The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution. In: **Sixth International Congress of Genetics**, 1932, Cornell University, New York, New York. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <http://www.esp.org/books/6th-congress/facsimile/contents/6th-cong-p356-wright.pdf>. Acesso em 10 mar. 2023.

WRIGHT, Sewall, et al. Adaptation and selection. **Genetics, paleontology and evolution**, v. 365, p. 389, 1949.

WRIGHT, Sewall, TEISSIER, Georges, et al. **Statistical genetics in relation to evolution**, 1939. Disponível online em: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282273040514560>. Acesso em: 10 mar. 2023.

YAKIRA, Elhanan. **La causalité de Galilée à Kant**. FeniXX, 1994.

ZUCKERKANDL, Emile; PAULING, Linus. Molecules as documents of evolutionary history. **Journal of theoretical biology**, v. 8, n. 2, p. 357-366, 1965.