



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

Thalyta Gonçalves Bertotti

O caminho que leva à inferência: o raciocínio baseado em modelos de Nancy J. Nersessian.

Florianópolis

2023

Thalyta Gonçalves Bertotti

O caminho que leva à inferência: o raciocínio baseado em modelos de Nancy J. Nersessian.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Filosofia.

Orientador: Prof. Ivan Ferreira da Cunha, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bertotti, Thalyta Gonçalves

O caminho que leva à inferência : o raciocínio baseado em
modelos de Nancy J. Nersessian / Thalyta Gonçalves Bertotti ;
orientador, Ivan Ferreira da Cunha, 2023.

99 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de
Pós-Graduação em Filosofia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Filosofia. 2. Contexto de descoberta. 3. Criação
científica. 4. Raciocínio baseado em modelos. 5. Nancy J.
Nersessian. I. da Cunha, Ivan Ferreira. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Filosofia. III.
Título.

Thalyta Gonçalves Bertotti

O caminho que leva à inferência: o raciocínio baseado em modelos de Nancy J. Nersessian.

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 23 de agosto de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Jerzy André Brzozowski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Sofia Inês Albornoz Stein, Dra.
Universidade de São Paulo

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Filosofia.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Ivan Ferreira da Cunha, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

Aos meus pais e à minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à CAPES, que financiou a elaboração desta pesquisa.

Agradeço ao meu orientador, professor Ivan Ferreira da Cunha, que me orientou com uma dedicação e sensibilidade ímpar. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para a minha trajetória acadêmica e para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores Jerzy André Brzozowski e Sofia Inês Albornoz Stein, por aceitarem compor a banca de defesa desta dissertação. Assim como aos professores Jonas Rafael Becker Arenhart e Luciana Zaterka, por aceitarem participar como suplentes.

Agradeço aos professores Jerzy André Brzozowski e Luiz Henrique de Araújo Dutra, por terem participado do exame de qualificação e contribuído com sugestões para a melhora deste texto, e aos professores Jonas Rafael Becker Arenhart, por presidir o exame, e Jaimir Conte, por aceitar participar como suplente.

Agradeço aos professores Jerzy André Brzozowski, Luiz Henrique de Araújo Dutra, Tamires Dal Magro, Christian de Ronde, Jonas Rafael Becker Arenhart e Ivan Ferreira da Cunha, pelas instigantes aulas em um dos momentos mais difíceis da história, a pandemia de COVID-19.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina, pela formação e oportunidades a mim oferecidas.

Agradeço aos professores Lucas Telichevesky, Kleber Briz Albuquerque e Israel Müller dos Santos pela leitura de uma versão anterior deste trabalho.

Agradeço especialmente as minhas amigas, Karine Rossi Pereira e Emanoela Agostini. Obrigada por estarem comigo nos dias bons e nos dias ruins. Vocês tornaram essa jornada mais leve.

Agradeço aos amigos e amigas que fiz durante esse percurso, nas disciplinas, nos grupos de estudos, na representação discente e na organização de eventos, pela parceria durante esses anos: Walter Mansolelli Neto, Gabriel Ferreira das Neves, Gabriele Caroline Fontanive, Paulo Emmanuel Dellazari Fernandes, Luis Fernando Silva de Azevedo, Rodrigo Trindade Nascimento, Bruno Hümmelgen, Félix Flores Pinheiro, Gilson Olegario da Silva, Renato Cesar Cani, Patricia Melisa Silva Fonseca Fanaya, Luana Francine Nyland, Sofia Abelha Meirelles, Renan Zimmer, Luan Guedes Goulart, Mayara Yuka Matimoto Baio, Italo Lins Lemos, Hiago Mendes Guimarães,

Fabio Paulo Belli, Thor João de Sousa Veras, Ana Stela Rossito Carneiro, Vitória Sinimbu De Toledo, Felini de Souza, Shayenne Bruna Alves, Ederson Safra Melo, Jéssica Gonçalves Rodrigues e Natália Pereira Pinheiro. São muitos, por isso peço desculpas àqueles de quem posso ter esquecido.

Agradeço aos meus pais e à minha irmã, por me apoiarem sem medir esforços. Sem eles, esse trabalho não existiria.

Por fim, agradeço àquele que, se existe, deve ter me ajudado... Deus.

Eu tinha vontade de fazer como os dois homens que vi sentados na terra escovando osso. No começo achei que aqueles homens não batiam bem. Porque ficavam sentados na terra o dia inteiro escovando osso. Depois aprendi que aqueles homens eram arqueólogos. E que eles faziam o serviço de escovar osso por amor. E que eles queriam encontrar nos ossos vestígios de antigas civilizações que estariam enterrados por séculos naquele chão. Logo pensei de escovar palavras. Porque eu havia lido em algum lugar que as palavras eram conchas de clamores antigos. Eu queria ir atrás dos clamores antigos que estariam guardados dentro das palavras. Eu já sabia também que as palavras possuem no corpo muitas oralidades remontadas e muitas significâncias remontadas. Eu queria então escovar as palavras para escutar o primeiro esgar de cada uma. [...]

Escova - Manoel de Barros (2018)

RESUMO

Esta dissertação tem o objetivo de discutir a contribuição de Nancy J. Nersessian à questão de como surgem novos conceitos na investigação científica, assumindo como referência principal o livro *Creating Scientific Concepts* (2008). Sua análise da prática científica é baseada na história e filosofia da ciência, assim como nas ciências cognitivas. Partindo dessa abordagem naturalista, a autora identifica aquilo que chama de raciocínio baseado em modelos, uma forma de raciocinar que envolve o uso de analogias, representações imagéticas e experimentos de pensamento. Como exemplo do uso desse raciocínio, Nersessian explora a trajetória do físico James Clerk Maxwell durante o desenvolvimento das equações de campo eletromagnético. Esta dissertação conduz, ainda, um estudo do contexto em que a pesquisa de Nersessian se desenvolve, a partir das propostas de Norwood Russell Hanson e Thomas Kuhn, especialmente na oposição que esses autores estabeleceram à tradicional dicotomia entre contextos de descoberta e de justificação na filosofia da ciência. Tradicionalmente, a disciplina se concentrou na questão da justificação de maneira abstrata, deixando-se de lado a questão da descoberta; mas, seguindo Nersessian, esta dissertação tratará dos dois contextos em continuidade. A conclusão, obtida a partir das ideias de Nersessian compreendidas no contexto das discussões de Hanson e Kuhn é que a descoberta e a criação científica resultam da interação entre pesquisadores e não possuem um passo a passo para ser concretizadas. São eventos históricos que dependem de um contexto social, cultural, material e cognitivo.

Palavras-chave: Contexto de descoberta. Criação científica. Raciocínio baseado em modelos.

ABSTRACT

This dissertation aims at discussing Nancy J. Nersessian's contribution to the question of how new concepts emerge in scientific research, taking as main reference the book *Creating Scientific Concepts* (2008). Her analysis of scientific practice is based on the history and philosophy of science as well as on the cognitive sciences. Starting from this naturalistic approach, Nersessian identifies what she calls model-based reasoning, a way of reasoning that involves the use of analogical domains, imagery representations, and thought experiments. As an example of the use of this reasoning, Nersessian explores the trajectory of physicist James Clerk Maxwell during the development of electromagnetic field equations. This dissertation also conducts a study of the context in which Nersessian's research develops, based on proposals by Norwood Russell Hanson and Thomas Kuhn, especially in the opposition that these authors established to the traditional dichotomy between contexts of discovery and justification in the philosophy of science. Traditionally, the discipline has focused on the question of justification in an abstract way, leaving aside the question of discovery; but, following Nersessian, this dissertation will deal with the two contexts in continuity. The conclusion, obtained from Nersessian's ideas understood in the context of Hanson's and Kuhn's discussions, is that scientific discovery and creation result from the interaction between researchers and there is no step-by-step process to achieve them. These are historical events that depend on a social, cultural, material and cognitive context.

Keywords: Context of discovery. Scientific creation. Model-based reasoning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de um vórtice	57
Figura 2 – Representação de vários vórtices	59
Figura 3 – Modelo vórtice-roda ociosa	60
Figura 4 – Processo de modelagem de Maxwell.....	66
Figura 5 – Desenho de Newton.....	81
Figura 6 – Diagrama do problema fortaleza-tumor por Gick e Holyoak de 1983.....	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	CONTEXTO DE DESCOBERTA E DE JUSTIFICAÇÃO.....	17
2.1	ORIGEM DA DICOTOMIA E ALGUNS DESDOBRAMENTOS	17
2.2	ABORDAGEM HISTORICISTA	23
2.3	A DESCOBERTA NA PERSPECTIVA DE KUHN	27
2.4	A DESCOBERTA NA PERSPECTIVA DE NERSESSIAN	34
3	RACIOCÍNIO BASEADO EM MODELOS.....	38
3.1	RACIOCÍNIO E LÓGICA	38
3.2	A BASE DO RACIOCÍNIO BASEADO EM MODELOS	42
3.3	O CASO DE JAMES CLERK MAXWELL	54
3.4	PRÁTICAS DE RACIOCÍNIO BASEADO EM MODELOS	70
3.4.1	Analogia	72
3.4.2	Representação imagética	81
3.4.3	Experimento de pensamento.....	84
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
	REFERÊNCIAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

O objetivo desta dissertação é discutir a contribuição de Nancy J. Nersessian à questão de como surgem novos conceitos na investigação científica. Para tanto, abordaremos pesquisas relacionadas à descoberta e à criação científica¹. A inquietação que norteia a nossa pesquisa está em entender como os cientistas chegam às suas conclusões mais revolucionárias, que tipo de raciocínio eles utilizam e que fatores influenciam nesse processo. A título de ilustração, tomamos a liberdade de introduzir um relato pessoal, intimamente relacionado ao problema que nos serve de pano de fundo.

Quando eu era criança, vi um documentário na escola sobre a história de um cientista que fez uma grande descoberta. Por causa disso, nos dias que se seguiram, me lembro de olhar com muita atenção para as plantas e pedras do quintal da minha casa. Fazia isso na esperança de que algum segredo da natureza se revelasse para mim, assim como na história daquele cientista tão importante. Infelizmente, não me recordo do nome do cientista ou do documentário, mas lembro claramente do esforço que fiz para descobrir algo naquele quintal. No fim das contas, não descobri nada. Será que não fiz esforço o suficiente? Não tenho o que é preciso para desvendar os mistérios da natureza? Ou, talvez, somente algumas pessoas consigam realizar tais façanhas? Embora não conseguisse entender ao certo o motivo, outras coisas ganharam minha atenção e fazer uma descoberta científica deixou de ser uma prioridade. O abandono do meu objetivo pode ser considerado, seguindo as ideias de Roberto de Andrade Martins (2006), uma consequência de uma concepção falsa a respeito da natureza da ciência e sobre a forma que os cientistas trabalham retratadas no documentário que assisti.

Muito provavelmente, esse não é um acontecimento isolado. Há uma série de histórias distorcidas sobre descobertas científicas disseminadas em sociedade. Entre elas, uma muito popular é aquela sobre Isaac Newton e a maçã. De acordo com Martins (2006), quando a Grande Praga chegou na Inglaterra em 1665, a Universidade de Cambridge onde Newton estudava foi fechada e ele voltou para a propriedade rural de sua família em Woolsthorpe, onde permaneceu por quase dois anos. Como nos

¹ Neste trabalho, usamos os termos descoberta, criação e mudança conceitual como sinônimos, pois estamos assumindo que essas ações estão ligadas umas com as outras, ou seja, estão em continuidade. Uma descoberta leva a uma criação e uma mudança só existe quando algo já foi criado.

mostra Martins (2006), há várias versões da história, mas em resumo ela diz o seguinte: no período em que ficou em Woolsthorpe, ou uma maçã caiu em sua cabeça ou ele viu uma maçã cair e, como consequência disso, ele entendeu o que precisava para desenvolver a teoria da gravitação. O que torna todas as versões erradas, segundo Martins (2006), é a omissão de tudo que Newton já havia feito antes e depois de, supostamente, ver a maçã cair, como ele relatou no fim de sua vida aos amigos mais próximos. Antes de ir para a propriedade de sua família, Newton já tinha obtido o título de “bacharel em artes” e, como destaca Martins (2006), de acordo com os cadernos de anotações de Newton

[...] antes do período em que se retirou para Woolsthorpe ele leu por conta própria várias obras importantes de matemática, astronomia e filosofia que lhe deram uma excelente base para suas pesquisas posteriores. Ele leu uma tradução inglesa do “Diálogo sobre os maiores sistemas do mundo, Ptolomaico e Copernicano”, de Galileo, onde se encontra uma boa argumentação mostrando que a Lua e a Terra são de naturezas semelhantes. E foi lendo os *Princípios da Filosofia* de René Descartes que Newton obteve alguns dos pré-requisitos para a ideia que teve ao ver a maçã cair (MARTINS, 2006, p. 179).

Ou seja, “[...] a maçã apenas desencadeou uma série de ideias — mas elas poderiam ter surgido sem a queda da maçã” (MARTINS, 2006, p. 186). Além disso, após o episódio da queda da maçã, Newton se dedicou a verificar suas ideias por meio de cálculos e nem todos deram certo. No mais, “[...] havia muitos outros aspectos da teoria da gravitação que ainda não haviam sido percebidos ou desenvolvidos por ele. Foram necessários muitos anos até que seu trabalho adquirisse a forma final” (MARTINS, 2006, 187). Newton não foi o único a ter todo o seu trabalho reduzido a um momento, Dmitri Ivanovich Mendeleev, Friedrich August Kekulé e Arquimedes de Siracusa podem ser considerados como outros exemplos. Por causa dessas narrativas, criou-se no imaginário popular que criações ou descobertas científicas são frutos de processos irracionais, como insights, revelações, sonhos, ou de uma questão de genialidade, de um dom que algumas poucas pessoas possuem. Isto é, a descoberta científica é associada no imaginário popular a processos irracionais, no sentido de não podermos analisar e explicar.²

² A expressão “processos irracionais” deve ser entendida como processos intuitivos que não estão sujeitos a uma análise normativa, cf. Schickore (2022).

Além de possuir esse estereótipo, a descoberta científica não foi um objeto de estudo na filosofia por muito tempo. No capítulo 2 “Contexto de descoberta e de justificação”, apresentamos a dicotomia entre o contexto de descoberta e o contexto de justificação, a partir da qual há um recorte metodológico para a análise filosófica da ciência: a filosofia deve se ocupar da justificação e as ciências empíricas, da descoberta. Essa perspectiva foi adotada por autores como Hans Reichenbach e Karl Popper, a partir de 1930. Mais tarde, entre 1950 e 1960, uma proposta diferente foi apresentada por autores como Norwood Russell Hanson e Thomas S. Kuhn. Para eles, a filosofia pode utilizar tanto os resultados quanto os métodos das ciências empíricas, ou seja, a filosofia pode se ocupar da justificação e também da descoberta. Por conta disso, de acordo com Paul Hoyningen-Huene (1987), com o passar do tempo surgiram pelo menos cinco versões da dicotomia. Apesar da oposição de Hanson e de Kuhn, mostramos que a ideia da filosofia se ocupar da justificação se manteve por um longo tempo nos manuais para o ensino de filosofia: ela aparece, por exemplo, no *Readings in the Philosophy of Science* (1953), organizado por Herbert Feigl e por May Brodbeck, anterior aos trabalhos de Hanson e de Kuhn, e novamente, praticamente inalterada quase quatro décadas mais tarde, no *Introductory Readings in the Philosophy of Science* (1998), organizado por Elmer Daniel Klemke, Robert Hollinger, David Wyss Rudge e David Kline. Contudo, isso não significa que as questões levantadas pela análise diferenciada de Hanson e de Kuhn tenham sido irrelevantes. A análise da mudança conceitual na ciência realizada por esses autores nos mostra justamente o contrário. A descoberta científica se mostrou ser um tópico muito rico para análise filosófica e por isso continua sendo estudada até hoje.

No capítulo 3 “Raciocínio baseado em modelos”, discutimos a obra *Creating Scientific Concepts* (2008) de Nersessian, uma das pesquisadoras que também se dedicou ao contexto de descoberta. Assim como Kuhn, Nersessian analisa a história da ciência, mas, diferente dele, vai além dos fatores culturais e analisa as pesquisas em ciências cognitivas. Ela chama essa prática de método histórico-cognitivo. Com isso a autora pretende nos entregar um estudo mais minucioso das transições entre teorias, com o objetivo de nos mostrar que as criações e descobertas científicas não são frutos de processos irracionais, como o suposto insight da história da maçã, ou como sonhos e dons, mas sim processos racionais que podem ser analisados e explicados. Ao analisar a prática científica, Nersessian identifica o que chama de raciocínio baseado em modelos. Diferente do raciocínio lógico, esse raciocínio não

tem regras específicas e nem sempre leva a soluções. Essa forma de raciocinar envolve o uso de analogias, representações imagéticas e experimentos de pensamento. No que se refere à analogia, Nersessian percebe uma etapa a mais em sua execução, a construção da representação, mais especificamente, o modelo. O tipo de modelo discutido por ela são modelos conceituais, que “[...] são sistemas imaginários projetados para serem análogos estruturais, funcionais ou comportamentais dos fenômenos-alvo. [Eles] são dinâmicos, de modo que estados futuros podem ser determinados através da simulação mental do modelo” (NERSESSIAN, 2008, p. 12). Ainda, para Nersessian, esses modelos são considerados como representações icônicas. Nessa forma de raciocínio, as inferências são realizadas por meio da construção, manipulação, adaptação e avaliação dos modelos. Para defender essas ideias, a pesquisadora não só percorre várias áreas das ciências cognitivas e a história da ciência, mas também apresenta dois estudos de caso no livro supracitado, dos quais só discutiremos um, o do físico James Clerk Maxwell.

Assim, da maneira como entendemos a história recente da filosofia da ciência, houve uma mudança de abordagem na disciplina após a obra de Hanson e Kuhn. Essa mudança está no direcionamento das atenções da comunidade filosófica à questão da descoberta, anteriormente reservada às pesquisas empíricas. Na nova fase que podemos dizer que se iniciou, é evidente que há muitos autores e muitas discussões que aprofundam nossa compreensão dos processos de descoberta e criação nas ciências. Nossa escolha por focar o trabalho de Nersessian se dá pelo fato de tal autora incorporar em sua pesquisa os resultados das chamadas ciências cognitivas, área que desponta recentemente no estudo empírico dos processos de raciocínio. Consideramos, portanto, que a obra de Nersessian é uma contribuição inovadora à imagem que começou a ser construída por Hanson e Kuhn. A inovação de Nersessian está em trazer os estudos das ciências cognitivas para perto dos estudos históricos e filosóficos sobre a criação e descoberta científica, buscando avaliar quais as contribuições desse campo de estudos relativamente novo para esse problema, que percebemos como fundamental, da filosofia da ciência.

2 CONTEXTO DE DESCOBERTA E DE JUSTIFICAÇÃO

2.1 ORIGEM DA DICOTOMIA E ALGUNS DESDOBRAMENTOS

O objetivo desta dissertação, como anunciou a introdução, é discutir a contribuição de Nancy J. Nersessian à questão de como surgem novos conceitos na investigação científica. Em vista desse objetivo, é relevante discutir a dicotomia entre os chamados contexto de descoberta e contexto de justificação. Trata-se de uma distinção que se tornou lugar-comum na filosofia da ciência a partir da década de 1930, quando autores como Hans Reichenbach e Karl Popper propuseram que a disciplina deveria se concentrar na questão da justificação, isto é, na questão de como garantir ou atestar o estatuto epistêmico do conhecimento científico. Ao estabelecer esse recorte, tais autores propõem que seja deixado de lado na filosofia o tópico da descoberta, a saber, aquele sobre como cientistas chegam ao conhecimento. Não se trata de considerar que uma questão é mais importante que a outra, mas de considerar que a questão de descrever como cientistas chegam a uma descoberta é uma questão empírica, a ser respondida pelas ciências empíricas, como a psicologia (ou, como se chama hoje em dia, as ciências cognitivas), ou pela história, dependendo da abordagem adotada. Em outras palavras, para investigar como cientistas chegam (ou chegaram) a descobertas científicas, devemos adotar métodos rigorosos de observação. A abordagem tradicional da filosofia, no entanto, não oferece tais métodos e, por isso, aqueles autores insistem em um recorte metodológico para a análise filosófica da ciência. Nesse recorte, a filosofia se volta a questões tais como a da validade das inferências científicas, a do apoio que as hipóteses recebem das evidências, a da estrutura lógica interna às teorias científicas, entre outras. Ou seja, o domínio próprio da filosofia, conforme essa abordagem tradicional, é o das relações lógicas que se estabelecem no conhecimento científico, relações que podem, muitas vezes (mas não sempre), ser estudadas de maneira abstrata, independentemente de quaisquer fatos que precisem ser observados empiricamente.

O procedimento para esse tipo de análise filosófica, lógica, da ciência geralmente envolve o que se chama de reconstrução racional. Isto é, leva-se em conta não o que de fato acontece na prática científica, mas uma reconstrução, uma reconstituição na forma de um modelo lógico-linguístico das relações que se podem estabelecer entre teorias, hipóteses, descrições de evidências e processos

inferenciais. Com isso, tais relações podem ser analisadas e compreendidas de maneira abstrata, proporcionando um ponto de vista privilegiado para se avaliar a justificação do conhecimento científico. Nesse procedimento, geralmente é assumida perspectiva normativa em relação à racionalidade da ciência: quando se estudam as relações lógicas internas ao conhecimento científico, estabelecem-se também padrões sobre o que é conhecimento e o que não é, sobre o que é racional e o que não é, etc.

Nas décadas de 1950 e 1960, uma abordagem alternativa se consolidou a partir das obras de autores como Norwood Russell Hanson, Thomas S. Kuhn e Paul K. Feyerabend. Na perspectiva desses autores, a filosofia deve se apropriar dos resultados (e muitas vezes também dos métodos) da psicologia empírica, da história e de outras ciências para que se possam obter descrições dos processos pelos quais cientistas chegam ao conhecimento. Ou seja, tais autores passaram a lidar com o contexto de descoberta. Mas, mesmo com descrições razoavelmente precisas dos processos históricos, psicológicos, sociológicos e o mais, pelos quais as descobertas científicas são alcançadas, ainda permanecem as questões filosóficas tradicionais: O que caracteriza o conhecimento? Existe alguma particularidade que ateste a superioridade do conhecimento científico em relação a outros saberes? É possível falar de uma racionalidade típica da ciência? Isto é, mesmo com o foco voltado ao contexto de descoberta, as questões tradicionais do contexto de justificação continuam em aberto. Fica claro, dessa forma, que a dicotomia tradicional entre descoberta e justificação é um problema. Vejamos as considerações de Paul Hoyningen-Huene a respeito disso.

Em seu artigo, "Context of discovery and context of justification", Hoyningen-Huene (1987) busca entender o motivo pelo qual a discussão sobre esses contextos tomou um rumo insatisfatório, isto é, "[...] o interesse na distinção parece de alguma forma ter se dissolvido, sem uma resolução real do desacordo anterior" (p. 502). Seguindo o autor, o objeto em consideração ao fazer a distinção não é sempre o mesmo. Ele identifica cinco distinções diferentes sob o mesmo nome. Ou seja, a diferenciação dos contextos, de que falamos acima, desenvolveu-se de maneira a se tornar mais complexa do que uma simples questão de recorte na metodologia

filosófica. Há a distinção entre tipos de processos, entre o factual e o normativo, entre o lógico e o empírico, entre a filosofia e disciplinas empíricas, e entre questões.³

Ao analisar os ataques direcionados a cada tipo de distinção, Hoyningen-Huene nota que a distinção entre o factual e o normativo não é atacada e ressalta que, além dela parecer ser aquilo que queriam seus proponentes, sobre ela também repousam todas as outras distinções. Para ele, essa distinção envolve uma diferença de perspectiva:

Um resultado característico da perspectiva voltada para o factual é uma descrição (precisa) do que é o caso. O assunto da descrição pode ser um evento ou processo histórico, uma ideia, uma norma existente em algum sentido, ou qualquer outra coisa. A perspectiva normativa, por outro lado, não se contenta com uma descrição, por mais precisa que essa descrição possa ser. Em vez disso, o assunto é uma avaliação em certos aspectos. No nosso caso, a perspectiva normativa consiste em uma tentativa de avaliar até que ponto as afirmações cognitivas são justificadas e a forma de sua justificação (HOYNINGEN-HUENE, 1987, p. 511).

Segundo Hoyningen-Huene (1987), essa distinção “[...] não implica que o factual não tenha absolutamente nada a ver com o normativo” e também não envolve “[...] suposições sobre como uma avaliação normativa deve ser realizada. Assumimos apenas que a perspectiva normativa é possível [...]” (p. 511). Além disso, ele explica que os ataques à distinção entre os contextos não implicam que não exista uma diferença fundamental entre o factual e o normativo. De acordo com ele, é a combinação da distinção entre o factual e o normativo com outras distinções mencionadas que geram as críticas.

O rumo insatisfatório da discussão ocorreu, seguindo o autor, por causa das seguintes questões: 1) a combinação de possivelmente cinco distinções de forma implícita nas apresentações dos proponentes; 2) a depender dos pressupostos utilizados, a diferença entre algumas das distinções desaparece; 3) os oponentes constroem críticas à distinção de contextos como um todo; 4) as críticas não tratam da distinção entre factual e normativo, que seria a base para as outras distinções; e

³ Tais distinções podem incomodar um leitor que parte de uma perspectiva Quineana. Quine nos mostra que não é tão simples traçar distinções entre o observável e o teórico, entre o factual e o normativo, entre o domínio empírico e o domínio da lógica. Para ele, filosofia, ciência e senso comum estão em continuidade, de modo que tais distinções são difíceis de sustentar. Para uma introdução a essa discussão, cf. Dutra (2019).

5) as críticas tratam de distinções combinadas. Para o autor, “essas cinco fontes de mal-entendidos claramente fornecem ampla oportunidade para se falar em propósitos opostos entre os proponentes e os oponentes da chamada distinção de contexto” (HOYNINGEN-HUENE, 1987, p. 512).

Essa discussão deixou uma herança para o ensino de filosofia. O livro *Readings in the Philosophy of Science* (1953), organizado por Herbert Feigl e por May Brodbeck, foi preparado para ser utilizado tanto na graduação quanto em seminários de Pós-Graduação na disciplina de filosofia da ciência, possibilitando que “instrutores e alunos [sejam] rápidos em escolher as seleções mais elementares com as quais um percurso de estudos pode começar” (prefácio). Na seção da introdução escrita por Brodbeck, há alguns trechos que merecem destaque. Logo no início, ela ressalta que “[...] a filosofia da ciência é uma forma de falar sobre a ciência e não faz parte da própria ciência, como a física, a química e a biologia fazem parte da ciência” (p. 3). Após distinguir a filosofia da ciência das ciências naturais, ela as distingue daquelas que chama de ciências comportamentais, a sociologia e a psicologia. No caso dessas últimas, ela explica que elas são “[...] uma forma de se engajar na atividade científica, ao invés de uma forma de falar sobre essa atividade. Portanto, não [fazem] parte da filosofia da ciência” (p. 3). As implicações e relevância da atividade científica são questões essencialmente éticas e não fazem parte das questões de filosofia da ciência, segundo ela. Mas, ressalta que

[...] a avaliação moral da relação da ciência com a sociedade deve ser feita não apenas em termos de um sistema ético, mas, para não ser irresponsável, também em termos de uma compreensão da estrutura e do significado da própria ciência. Produzir esse entendimento é a função da Filosofia da Ciência (BRODBECK, 1953, p. 4).

Ao falar sobre a linguagem da ciência, os termos técnicos usados pelos cientistas, ela traz as seguintes questões que seriam do escopo da filosofia da ciência: “Qual é a relação deles [termos técnicos] com esse mundo cotidiano? O que eles significam em termos de coisas que todos podem ver ou ouvir? Qual é a justificativa lógica, em contraste com a prática, para introduzir esses elementos esotéricos no mundo?” (BRODBECK, 1953, p. 4). Ainda, explica que, diferente do cientista, o filósofo da ciência “[...] exhibe os elos da cadeia, frequentemente muito longa, das palavras abstratas e técnicas à linguagem comum concreta [e é] quem formula o princípio pelo qual a cadeia é formada, ou seja, a lógica da formação do conceito científico”

(BRODBECK, 1953, p. 4). A lógica aparece novamente em seu texto, quando apresenta outras questões de filosofia da ciência e diz que

responder a tais questões é um empreendimento de análise lógica, uma análise que esclarece as ideias e métodos básicos das ciências. É, portanto, uma contribuição essencial para o nosso conhecimento, nosso conhecimento sobre a ciência, em contraste com o conhecimento dentro da ciência, embora muito deste último seja necessário antes que possamos fazer essa contribuição (BRODBECK, 1953, p. 5).

Por fim, a relevância da lógica fica ainda mais evidente quando a autora afirma que “[...] dos quatro significados de ‘filosofia da ciência’ — o estudo sócio-psicológico da ciência; a avaliação moral do papel e conhecimento do cientista; a filosofia da natureza; a análise lógica da ciência — apenas o último é usado aqui” (BRODBECK, 1953, p. 6).

Um livro que tem como objetivo guiar estudantes e professores nas aulas de filosofia da ciência em diferentes níveis, ao tomar o significado da área como sendo a análise lógica da ciência, certamente influencia a exploração da disciplina nesse sentido. Ao dizer, na última citação, que “muito deste último seja necessário antes que possamos fazer essa contribuição”, chamo a atenção para o termo “antes”. Nesse trecho, identifico a distinção entre contextos que Hoyningen-Huene (1987) diz ser entre tipos de processos. De acordo com o autor, se trata de

[...] distinguir dois tipos de processos históricos, a saber, o processo da descoberta e o processo da justificação dessa descoberta. Além disso, esses processos são frequentemente caracterizados como ocorrendo um após o outro, o que parece necessário, pois qualquer justificação requer a existência daquilo que ela justifica (HOYNINGEN-HUENE. 1987, p. 504).

Assim, nossa interpretação da citação é de que, o conhecimento dentro da ciência (“deste último”) precisa estar bastante desenvolvido para que a análise lógica (“contribuição”) possa ser feita. Em outras palavras, a análise lógica só ocorre após esse desenvolvimento.

Ao falar, também, em “justificativa lógica, em contraste com a prática” para a introdução de termos na linguagem científica, Brodbeck (1953) parece estar pressupondo a distinção entre contextos que Hoyningen-Huene (1987) chama de distinção entre o lógico e o empírico. Nessa, “[...] as considerações, fatores, métodos

etc. de justificação ou de teste crítico [devem ser] determinados como lógicos. ‘Lógica’ deve ser entendida aqui no sentido da lógica dedutiva ou indutiva do século XX, em oposição à lógica clássica, transcendental ou hegeliana” (HOYNINGEN-HUENE. 1987, p. 505).

Ainda, ao entender que as disciplinas empíricas se “engajam” na atividade científica, enquanto a filosofia da ciência fala “sobre” essa atividade, podemos identificar a distinção entre contextos entre a filosofia e as disciplinas empíricas (HOYNINGEN-HUENE. 1987). Em tal distinção, “a filosofia da ciência é vista como abordando a análise lógica da justificação ou teste crítico, enquanto a história, a psicologia e a sociologia da ciência são disciplinas empíricas” (HOYNINGEN-HUENE. 1987, p. 505). Segundo o autor, isso não significa que as disciplinas sejam totalmente independentes umas das outras, mas sim que a dependência é unidirecional. A filosofia tem algo a oferecer às disciplinas empíricas, mas essas não têm nada a oferecer à filosofia, “[...] pois o que conta como justificação ou como teste crítico é apenas uma questão de raciocínio lógico. A correção ou incorreção de um determinado procedimento de justificação pode ser determinada apenas pela reflexão lógica e por nada mais” (HOYNINGEN-HUENE. 1987, p. 505).

Perspectiva semelhante sobre a disciplina de filosofia da ciência pode ser encontrada no livro *Introductory Readings in the Philosophy of Science* (1998), organizado por Elmer Daniel Klemke, Robert Hollinger, David Wyss Rudge e David Kline. Esse livro, da mesma maneira que o volume organizado quatro décadas antes por Feigl e Brodbeck, tem o objetivo de oferecer uma antologia de textos e comentários para uso em sala de aula, em cursos introdutórios da disciplina. A introdução do material, intitulada “What Is Philosophy of Science?”, inicia com a discussão sobre o que não é filosofia da ciência. Filosofia da natureza, história, sociologia e psicologia da ciência fazem parte da lista. Contudo, é reconhecido pelo autor que existem problemas em filosofia da ciência que se relacionam com essas áreas. Além disso, uma consideração é feita, a de que “uma coisa é apresentar uma explicação psicológica ou sociológica da ciência. [...] Outra coisa é examinar filosoficamente a relação entre ciência e cultura e, em geral, entre ciência e valores” (KLEMKE, 1998, introdução). Mas o que é examinar filosoficamente? A resposta a essa pergunta pode ser encontrada na caracterização do que é filosofia da ciência, apresentada no fim da introdução do livro:

Filosofia da ciência é a tentativa (a) de entender o método, fundamentos e estrutura lógica da ciência e (b) examinar as relações e interfaces da ciência e outras preocupações, instituições e buscas humanas, por meio de (c) uma análise lógica e metodológica tanto dos objetivos, métodos e critérios da ciência quanto dos objetivos, métodos e preocupações de vários fenômenos culturais em suas relações com a ciência (KLEMKE, 1998, introdução).

Passaram-se 45 anos da publicação do texto de Brodbeck (1953) e a análise lógica ainda é vista como o principal meio de se entender a ciência e examinar as suas relações, na disciplina de filosofia da ciência. É interessante destacar a nota ao fim da introdução: “muitos dos pontos de vista relativos à ciência e à filosofia da ciência apresentados nesta introdução e na introdução da Parte 1 derivam das palestras e escritos de Herbert Feigl, May Brodbeck, John Hospers e Sir Karl Popper” (KLEMKE, 1998, introdução). Diante disso, é razoável pensar que o livro introdutório organizado por Feigl e Brodbeck pode ter influenciado esse material, o que dá sentido à semelhança entre as ideias. Ademais, é importante ressaltar que Popper era um proponente da distinção entre contextos.

Diante disso, alguém poderia questionar se analisar de outra forma seria frutífero para a filosofia da ciência. Um bom exemplo de que mudar a análise pode trazer resultados interessantes surge ao estudar o tópico das mudanças conceituais, que ganhou notoriedade com o trabalho de Kuhn e continua sendo discutido décadas depois, como veremos no próximo capítulo, na pesquisa de Nersessian.

2.2 ABORDAGEM HISTORICISTA

Kuhn é o autor mais famoso a se afastar dessa tradição acadêmica e pedagógica que foca na justificação por meio da lógica, sendo influenciado pelos trabalhos de Hanson em filosofia e psicologia da percepção. Da mesma forma que Kuhn, Hanson claramente explorou o contexto de descoberta, *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science* (1958) é a sua obra mais famosa. Já em 1962 Kuhn, em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, e Paul Feyerabend, em seu texto “Explanation, Reduction and Empiricism”, dão notoriedade à discussão sobre as mudanças conceituais na ciência. De modo geral, para eles “[...] a mudança de teoria nas ciências pode envolver mudança no significado dos termos, caso em que há uma descontinuidade radical no desenvolvimento do conhecimento

científico” (ARABATZIS, KINDI, 2008, p. 349). Nesse sentido, de acordo com Arabatzis e Kindi, a perspectiva desses autores difere daquela dos positivistas lógicos, mais especificamente da de Rudolf Carnap, que em seu texto “Testability and Meaning” (cf. CARNAP, 1936) quando fala sobre como introduzir um novo termo na linguagem da ciência, “em nenhuma das alternativas [...] considera a possibilidade de descontinuidade que implicaria que talvez não fosse possível determinar o significado do novo termo reduzindo-o a conceitos já disponíveis” (ARABATZIS, KINDI, 2008, p. 350). Para Arabatzis e Kindi, a abordagem de Carnap não permite a compreensão da mudança conceitual possivelmente porque ela está assentada na “[...] linguagem observacional e fisicalista que [os positivistas lógicos] colocaram no fundo de sua formulação de teorias”, a qual “poderia garantir continuidade e validade intersubjetiva” (ARABATZIS, KINDI, 2008, p. 350).⁴ Em oposição a essa perspectiva do positivismo lógico, as ideias de Kuhn e Feyerabend são motivadas pela análise da história da ciência. Dessa forma, eles se tornam protagonistas daquilo que pode ser chamado de visão historicista sobre os conceitos e a mudança conceitual na ciência.

Enquanto podemos dizer que Carnap e outros positivistas lógicos foram influenciados pelo chamado primeiro Wittgenstein, Kuhn e Feyerabend foram fortemente influenciados pela fase posterior do trabalho daquele autor. Para o chamado segundo Wittgenstein, o significado de um termo está relacionado ao uso e não tão diretamente à referência a uma entidade, de modo que

o significado de uma palavra é seu uso na linguagem com suas regras e gramática. Conhecer o significado de uma palavra ou, de forma equivalente, ter o conceito correspondente, é ser capaz de usá-la adequadamente. Mas o uso apropriado não é dado por alguma definição, que deve estar previamente disponível, compreendendo um conjunto de condições necessárias e suficientes que especificam quando e como a palavra deve ser empregada, mas o uso apropriado é aprendido na prática quando os usuários da linguagem são expostos a exemplos concretos de aplicação (ARABATZIS, KINDI, 2008, p. 350).

⁴ Devemos ressaltar que a abordagem que Arabatzis e Kindi fazem das ideias de Carnap e do positivismo lógico — ou, mais adequadamente, empirismo lógico — é demasiado estreita e não faz justiça à variedade e complexidade do pensamento desses autores. Como exemplo, podemos mencionar que Otto Neurath, colega de Carnap no grupo conhecido como Círculo de Viena, concebia o conteúdo observacional da ciência em blocos constituídos convencionalmente e que poderiam ser substituídos por outros, conforme decisões tomadas na prática científica (cf. Neurath 1983 [1936]; Uebel 1992, p. 290ff.).

O modo como os cientistas são treinados pode ser entendido como um exemplo disso, como bem notado por Kuhn, para quem

o consenso e a eficácia da ciência não são conquistados teoricamente, mas praticamente. Os cientistas não precisam se preocupar com definições abstratas, explícitas, compreendendo condições necessárias e suficientes, para saber como aplicar um termo. Nem precisam reduzir sua prática a um conjunto de regras abstratas que capturam o que é essencial em seu campo (ARABATZIS, KINDI, 2008, p. 353).

Se o significado de um termo está relacionado ao seu uso na prática, ou seja, na vida cotidiana, então ao mudar o modo de usá-lo, mudamos o seu significado. O que aconteceu com o termo “planeta”, na transição da astronomia ptolemaica para a copernicana, serve como exemplo. Como Kuhn relata, “antes de ocorrer essa transição, o Sol e a Lua eram planetas; a Terra não era. Depois dela, a Terra era um planeta, como Marte e Júpiter; o Sol era uma estrela, e a Lua uma nova espécie de corpo, um satélite” (KUHN, 2000 [1981], p. 15).⁵ Essa transição representa um dos aspectos em um caso daquilo que Kuhn chama de desenvolvimento científico revolucionário, no qual houve uma mudança revolucionária, isto é, envolveu

[...] descobertas que não podem ser acomodadas nos limites dos conceitos que estavam em uso antes de elas terem sido feitas. A fim de fazer ou assimilar uma tal descoberta, deve-se alterar o modo como se pensa, e se descreve, algum conjunto de fenômenos naturais (KUHN, 2000 [1981], p. 14-15).

Em contraponto, há aquilo que Kuhn chama de desenvolvimento científico normal, no qual ocorrem mudanças não revolucionárias, ou seja, “[...] é o tipo que resulta em crescimento, acréscimo, adição cumulativa ao que era antes conhecido” (KUHN, 2000 [1981], p. 14). Segundo ele, nesse tipo de desenvolvimento são produzidos os tijolos que estão sendo sempre adicionados ao acervo do conhecimento científico. Diferente do revolucionário, no qual, podemos pensar, os tijolos produzidos não se encaixariam ao acervo existente e seria necessário um novo acervo para que pudessem ser acomodados.

⁵ As versões em língua portuguesa dos trechos citados deste texto de Kuhn foram obtidas na edição brasileira traduzida por Cezar Mortari, *O Caminho desde a Estrutura* (cf. KUHN, 2017).

Nesse artigo de Kuhn que estamos citando, chamado “O que são revoluções científicas?” (2000 [1981]), o autor apresenta três exemplos de mudança revolucionária: a transição da física aristotélica para a física newtoniana; a transição da teoria de contato da pilha para a teoria química da pilha; e o caminho trilhado por Max Planck do problema do corpo negro ao quantum. A partir desses exemplos, Kuhn destaca três características das mudanças revolucionárias. A primeira delas tem a ver com o modo com o qual Kuhn acredita que essas mudanças acontecem, feito rupturas ao invés de um processo gradual. Isto é, segundo ele, “se essas mesmas mudanças fossem introduzidas uma de cada vez, não haveria um refúgio intermediário. Apenas os conjuntos inicial e final de generalizações proveem uma explicação coerente da natureza” (KUHN, 2000 [1981], p. 29). Assim, de acordo com as ideias do autor, nas mudanças revolucionárias é provável que ocorra a revisão em conjunto de várias generalizações inter-relacionadas, de maneira que possamos classificar essas mudanças como holísticas (KUHN, 2000 [1981]).

A segunda característica presente nas mudanças revolucionárias ressaltada por Kuhn é a mudança de significado, mais especificamente “[...] mudança na maneira em que as palavras e expressões se ligam à natureza, uma mudança na maneira como são determinados seus referentes” (KUHN, 2000 [1981], p. 29). Contudo, ele explica que, isso também ocorre nas mudanças normais, a diferença está, então, no fato de que nas mudanças revolucionárias são alterados “[...] os critérios pelos quais os termos se ligam à natureza [e] [...], por extensão, o conjunto de objetos ou situações a que esses termos se ligam” (KUHN, 2000 [1981], p. 29-30). Isso significa que, por exemplo, se os critérios para classificar algo como um planeta são i) massa acima de x, ii) raio acima de y, e iii) formato esférico e digamos que caem sob essa classificação os seguintes corpos celestes: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Então, suponha que houve uma mudança normal no significado do termo planeta. Isso provavelmente vai alterar os critérios citados acima, o que pode ocasionar a retirada de algum dos corpos celestes mencionados, mas possivelmente vários continuarão caindo sob a classificação do termo. Todavia, imagine agora que ocorreu uma mudança revolucionária no significado do termo planeta. Isso significa que os critérios podem mudar tanto, que todos os corpos celestes mencionados podem ser retirados e podem passar a cair sob essa classificação aquilo que hoje chamamos de cometas e asteroides. Em suma, a mudança revolucionária envolve um

tipo de mudança de significado que altera critérios e entidades de um modo como se nos colocasse em um novo mundo.

A terceira e última característica discutida por Kuhn no artigo supracitado é “[...] uma mudança central de modelo, metáfora ou analogia — uma mudança na ideia que se tem do que é similar a quê, e do que é diferente do quê” (KUHN, 2000 [1981], p. 30), ou seja, o padrão de similaridade é substituído após a mudança revolucionária. De acordo com ele, os padrões de similaridade colocam os fenômenos em uma mesma categoria taxonômica, “em cada um deles, dois objetos ou situações são justapostos, e diz-se que são o mesmo ou que são semelhantes” e, continua o autor, “[...] a função principal de todas [...] [essas justaposições] é transmitir e manter uma taxonomia” (KUHN, 2000 [1981], p. 30-31). Para isso, um especialista, alguém já familiarizado com a similaridade dos itens justapostos envolvidos, os exhibe a um público que os desconhece, com a intenção de ensiná-los a reconhecer a similaridade também. Seguindo Kuhn, se o especialista tiver sucesso, o público conseguirá descrever uma lista de características relevantes para a relação de similaridade em questão. Para ele, “as justaposições semelhantes a metáforas que mudam em épocas de revolução científica são, portanto, fundamentais para o processo pelo qual é adquirida a linguagem, seja ela científica ou não” (KUHN, 2000 [1981], p. 31).

2.3 A DESCOBERTA NA PERSPECTIVA DE KUHN

Sobre o processo de descoberta que antecede tais revoluções, Kuhn escreve o artigo “A estrutura histórica da descoberta científica” (2011 [1962]). Seu objetivo neste texto, é “[...] isolar e esclarecer uma pequena parte daquilo que [considera] uma revolução historiográfica em curso no estudo da ciência” (KUHN, 2011 [1962], p. 183). Ele indica que a ideia de que a descoberta não possui uma estrutura interna e é um evento unitário que ocorre a uma pessoa em um tempo e um lugar específico é uma ideia inadequada. Em suas palavras:

Se o estudo da descoberta tem alguma surpresa a oferecer, é apenas que, apesar do imenso esforço e energia dispensados, raras vezes um estudo acadêmico, polêmico ou escrupuloso apontou com sucesso e precisão o tempo e o lugar em que se pode dizer propriamente que uma descoberta foi “feita” (KUHN, 2011 [1962], p. 184).

Todavia, é importante destacar que Kuhn faz uma distinção entre classes de descobertas. Ele explica que, por exemplo, o neutrino, as ondas de rádio e os elementos que passaram a ocupar as casas vazias da tabela periódica, antes de serem descobertos já haviam sido previstos em teorias. Isso faz com que essas descobertas pertençam a uma classe distinta, pois “[...] os que realizaram a descoberta sabiam, portanto, o que procurar desde o início. Essa antecipação não fez de suas tarefas algo menos exigente ou menos interessante, mas proporcionou critérios que indicaram quando o objetivo havia sido alcançado” (KUHNS, 2011 [1962], p. 185). Por conta disso, “[...] o descobrir que e o descobrir o que podem ocorrer juntos e no mesmo momento” (KUHNS, 2011 [1962], p. 189). Já a classe de descobertas chamada por Kuhn de perturbadora, envolve o oxigênio, a corrente elétrica, os raios X e o elétron. Essas são descobertas não previstas em teorias, ou seja, elas são inesperadas pela comunidade científica. Nesses casos, “[...] não há pontos de referência que informem ao cientista ou ao historiador quando a tarefa da descoberta foi completada” (KUHNS, 2011 [1962], p. 185). Nessas, segundo Kuhn, é impossível fazer uma atribuição a um indivíduo em um determinado tempo.

A descoberta do oxigênio é analisada mais profundamente por Kuhn no artigo citado. De acordo com ele, essa descoberta poderia ser reivindicada por três cientistas: Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier. Ele ressalta que alguns também consideram Pierre Bayen um candidato. Scheele é omitido na análise de Kuhn, pois seu trabalho só se tornou público depois de amplo conhecimento das pesquisas de Priestley e Lavoisier, de modo que “[...] não desempenha nenhum papel causal aparente [...]” (KUHNS, 2011 [1962], p. 186). Segundo relata Kuhn, antes de março de 1774, Bayen percebeu que ao aquecer o precipitado vermelho de mercúrio, um gás era produzido. Ele identificou esse gás como “ar fixo”. Alguns meses depois, no início de agosto de 1774, Priestley também aqueceu precipitado vermelho de mercúrio, mas notou algo diferente: o gás produzido favorecia a combustão. Assim, ele identificou esse gás como “ar nitroso”. Priestley comunicou Lavoisier sobre sua pesquisa, fazendo com que este repetisse seus experimentos, com testes um pouco mais elaborados. Apesar de sua identificação anterior, Priestley se manteve trabalhando nesse experimento e antes do início de março de 1775, concluiu que, na verdade, o gás deveria ser identificado como “ar comum”. Já no mês de março de 1775, ele revê sua identificação mais uma vez, considerando então o gás como “ar deflogisticado”. No que se refere ao trabalho de Lavoisier, a partir de maio de 1775,

ele identificou o gás produzido pelo aquecimento de precipitado vermelho de mercúrio como “ar atmosférico puro”. Mas, em fevereiro de 1776, influenciado pelo trabalho de Priestley, ele reexamina seus resultados. Um ano de trabalho resultou numa nova conclusão: “[...] o gás tratava-se, na verdade, de um componente separável do ar atmosférico, que ambos, ele e Priestley, haviam considerado homogêneo” (KUHN, 2011 [1962], p. 187).

Ao compreender o gás como algo novo, Kuhn considera que foi concluída a descoberta do oxigênio. Apesar disso, ele relata a dificuldade de identificar quem e quando a descoberta foi realizada. Ele explica que, “ao que parece, quem descobre algo tem também de estar ciente da descoberta, assim como saber o que foi descoberto” (KUHN, 2011 [1962], p. 188). Tanto Bayen, Priestley e Lavoisier não estavam conscientes da descoberta e quando Lavoisier chegou à conclusão de que era algo novo, não sabia realmente o que era, pois “[...] sustentava que o oxigênio era um ‘princípio de acidez’, e que o gás oxigênio somente era formado quando esse ‘princípio’ se unia ao calórico, a matéria do calor” (KUHN, 2011 [1962], p. 188). Por isso, Kuhn reconhece “[...] a frase ‘o oxigênio foi descoberto’ induz em erro, pois sugere que descobrir algo é um ato único, simples e capaz de ser atribuído sem equívoco a um indivíduo num dado instante do tempo, contanto que saibamos o suficiente” (KUHN, 2011 [1962], p. 189). Segundo o autor, o que podemos assegurar, ignorando o trabalho de Scheele, é que “[...] o oxigênio não foi descoberto antes de 1774, e talvez ainda possamos sustentar que já havia sido descoberto em 1777 ou pouco depois. Entretanto, dentro desses limites, qualquer tentativa de datar a descoberta ou atribuí-la a um indivíduo é necessariamente arbitrária” (KUHN, 2011 [1962], p. 189).

Além disso, outra ideia popular é a de que a descoberta do oxigênio foi a causa da criação da teoria da combustão por oxigênio. Ainda que isso pareça razoável, segundo Kuhn, “muito antes de desempenhar qualquer papel na descoberta de um novo gás, Lavoisier convenceu-se de que havia algo errado com a teoria flogística. Mais: convenceu-se de que corpos em combustão absorvem uma parte da atmosfera” (KUHN, 2017 [1970], p. 132-133). Sabemos disso pois Lavoisier entregou uma nota selada ao secretário da Academia Francesa em 1772, em que dizia:

Há aproximadamente oito dias descobri que o enxofre, ao queimar, não perdia peso, mas, ao contrário, o ganhava; que de uma libra de

enxofre podia-se obter muito mais que uma libra de ácido vitriólico [ácido sulfúrico, H₂SO₄] abstração feita da umidade do ar; a mesma coisa acontece com o fósforo. Esse aumento de peso provém de uma quantidade prodigiosa de ar que se fixa durante a combustão e que se combina com os vapores. Esta descoberta que constatei com experiências que considero decisivas, fez-me pensar que o que se observa na combustão do enxofre e do fósforo podia também acontecer com todos os corpos que aumentam de peso com a combustão e a calcinação e me convenci de que o aumento de peso das cales metálicas tinha a mesma origem. A experiência confirmou completamente as minhas conjecturas. Fiz a redução do litargírio [PbO] em vasos fechados, com o aparelho de Hales, e observei que no momento da passagem da cal ao metal produzia-se uma quantidade considerável de ar, e que esse ar formava um volume mil vezes maior que a quantidade de litargírio empregado. Essa descoberta parece-me uma das mais interessantes que foram feitas desde Stahl, e como é difícil não deixar entrever aos amigos, durante a conversação, alguma coisa que possa mostrar-lhes o caminho da verdade, julguei necessário deixar o presente depósito nas mãos do secretário da Academia, para ficar secreto até o momento em que publicar as minhas experiências (LAVOISIER, 1772 apud TOSI, 1989, p. 37).

George Ernst Stahl, citado por Lavoisier na citação acima, foi quem desenvolveu a teoria flogística. De acordo com Mocellin (2003, p. 64), “a química stahliana foi a primeira sistematização que associava uma variedade de fenômenos, tais como a calcinação, a combustão, e as reações que hoje chamamos de oxidação e redução, oferecendo aos químicos um esquema teórico coerente”. Segundo essa teoria todos os corpos eram compostos pelos princípios água e terra e esse último era dividido em três, sendo um deles o flogístico (MOCELLIN, 2003). O flogístico era responsável por explicar o porquê as coisas queimam. A ideia era que, ao queimar um pedaço de madeira, por exemplo, o flogístico era liberado e a madeira só pararia de queimar assim que todo o seu flogístico tivesse acabado. A liberação de algo fazia sentido uma vez que o peso, por exemplo, da madeira, era relativamente menor depois de aquecida. Quanto mais fácil de queimar, mais flogístico o material possuía. Além disso, “o flogístico também poderia ser transferido de um corpo para o outro, ou seja, de um corpo rico em flogístico para outro, com menos flogístico” (GOMES DOS SANTOS, 2012, p. 28).

Contudo, conforme Kuhn, dois fatores foram importantes para que a teoria flogística entrasse em declínio, sendo eles o surgimento da química pneumática e a questão do aumento de peso após a queima. Em relação ao primeiro, para Kuhn o desenvolvimento da bomba de ar foi crucial, pois permitiu aos químicos “[...]”

compreender que o ar devia ser um ingrediente ativo nas reações químicas” (KUHN, 2017 [1970], p. 150). A partir disso, segundo o autor, criaram-se novas técnicas que possibilitaram a distinção entre diferentes amostras de gases. Entretanto, Kuhn explica que a teoria flogística não acompanhou esse desenvolvimento, levando ou a uma inutilização nas experiências de laboratório ou a uma aplicação incoerente. Nas palavras de Kuhn: “quando, a partir de 1770, Lavoisier iniciou suas experiências com o ar, havia tantas versões da teoria do flogisto como químicos pneumáticos” (KUHN, 2017 [1970], p. 151). Já no que se refere ao segundo fator, a utilização de balanças é que foi fundamental, pois com isso “os químicos descobriram um número sempre maior de casos nos quais o aumento de peso acompanhava o aquecimento” (KUHN, 2017 [1970], p. 152). Isso colocava em xeque a teoria flogística pois se os corpos perdiam flogístico, como seria possível que ganhassem peso? Para aqueles que não queriam rejeitar a teoria, a solução foi pensar que “talvez o flogisto tivesse peso negativo, ou talvez partículas de fogo ou de alguma outra coisa entrassem no corpo aquecido ao mesmo tempo em que o flogisto o abandonava” (KUHN, 2017 [1970], p. 152), ou seja, criaram hipóteses ad hoc. Já para Lavoisier, que estava procurando a resposta fora da teoria flogística, o que fazia sentido era que uma parte da atmosfera era absorvida pelos corpos ao serem queimados.

Dessa forma, podemos entender que o período durante o qual se desenrolou a descoberta do oxigênio “indicou-lhe algo que ele já estava preparado para descobrir: a natureza da substância que a combustão subtrai da atmosfera” (KUHN, 2017 [1970], p. 133). Lavoisier primeiro precisou começar a construir uma teoria nova para que pudesse descobrir o gás oxigênio. De acordo com Kuhn, o mundo se torna diferente depois de uma mudança de paradigma. Ele expressa isso a partir da seguinte metáfora: “É como se comunidade profissional tivesse sido subitamente transportada para um novo planeta, onde objetos familiares são vistos sob uma luz diferente e a eles se apregam objetos desconhecidos” (KUHN, 2017 [1970], p. 201). Ou seja, ao deixar de lado o paradigma da teoria flogística e ao começar a construir aquilo que seria o próximo paradigma, Lavoisier começou a ver o mundo de uma maneira diferente e “[...] viu oxigênio onde Priestley viu ar desflogistizado e outros não viram absolutamente nada. Contudo, ao *aprender* a ver o oxigênio, Lavoisier teve também que modificar sua concepção a respeito de muitas outras substâncias familiares” (KUHN, 2017 [1970], p. 210; ênfase nossa).

É interessante dar destaque à palavra “aprender” na citação acima. Segundo Norwood Russell Hanson, autor que influenciou fortemente o trabalho de Kuhn, “Quem nada aprendeu, nada pode observar” (HANSON, 1979, p. 134). Em seu texto intitulado “Observação e interpretação”, Hanson defende que duas pessoas podem estar diante de um mesmo fenômeno e fazerem observações diferentes — que é justamente o que aconteceu com Lavoisier e Priestley. Como exemplo, ele pede que imaginemos um físico com seu filho de dois meses no colo, ambos diante de um tubo de raio X, e a questão é: os dois observam a mesma coisa? Sua resposta para essa pergunta é sim e não. Para ele, eles possuem a consciência visual do mesmo objeto, o que muda é o modo como têm essa consciência. De acordo com Hanson, os elementos do campo visual do físico estão organizados de um modo diferente, pois ele observa em termos das teorias físicas que aprendeu. Contudo, alguém poderia argumentar que um bebê de dois meses não está plenamente desenvolvido e por isso o modo como têm essa consciência é diferente. Em outro texto, “Seeing and seeing as”, cujo título pode ser traduzido como “Ver e ver como”, Hanson parece estar ciente disso quando diz que:

É bem sabido que os bebês, mesmo aqueles com mais de 6 meses — momento em que a retina está completamente formada e um mínimo de coordenação ocular foi alcançado — são capazes de experimentar muito pouco do que consideramos as experiências visuais mais comuns, como ver uma nuvem no céu. Apesar de todo o seu delicado equipamento óptico, os bebês não estão nem mesmo em condições de serem iludidos por perspectivas reversíveis ou aspectos mutáveis, muito menos galvanômetros e tubos de raios-x (HANSON, 2018 [1969], p. 79).

Tendo isso em mente, um exemplo mais apropriado seria aquele em que Hanson compara o físico quando criança e o físico depois de formado com experiência na área. Quando criança, em seu primeiro dia na escola, ele fica fascinado com os instrumentos do laboratório de ciências. No entanto, depois de se formar e passar anos pesquisando, embora os instrumentos sejam os mesmos, o contexto é outro, a observação do físico é carregada das teorias que aprendeu. Para Hanson, não se trata de uma interpretação diferente, o físico não está fazendo nada além de ver, “a diferença está em nossa organização conceitual dos elementos de nossa experiência visual” (HANSON, 2018 [1969], p. 80). Assim, relacionando ao título do texto, a criança e o adulto viram a mesma coisa, mas o adulto, tendo já aprendido teorias sobre

aqueles objetos, é capaz de ver os objetos como instrumentos do laboratório, como conectados a uma teoria, um paradigma, como fonte de possíveis raciocínios, etc.

Disso o autor tira uma conclusão importante: “Se ver coisas diferentes implica em ter conhecimento diferente, elaborar teorias diferentes e fazer conjecturas diferentes acerca de X, então, ver a mesma coisa implica partilhar conhecimento, teorias e conjecturas, acerca de X” (HANSON, 1979, p. 136). É isso que acontece quando um novo paradigma se estabelece na comunidade científica, essa comunidade passa a partilhar conhecimento, teorias e conjecturas, e por isso concordam em suas observações, estabelecendo uma tradição de ciência normal. Levando em consideração que podemos entender que comunidade significa pessoas que possuem algo em comum, tanto é a comunidade que partilha, como é o partilhar que forma a comunidade.

Nesse contexto, podemos entender aquela que é uma das ideias mais famosas de Kuhn, a ideia de que há dois tipos de progresso na ciência. O primeiro tipo é o progresso cumulativo, trata-se daquele mais corriqueiro, bem próximo da imagem de senso comum que temos da ciência: o conhecimento científico vai aumentando, vai se acumulando. Esse tipo de progresso só pode ocorrer na ciência normal, quando há uma comunidade que partilha pressupostos, objetivos, métodos, visões de mundo, modelos, entre outras ideias. Só quando há esse partilhar é que há uma comunidade que concorda que certo desenvolvimento recente é, de fato, progresso. Já o segundo tipo de progresso é o que se chama de progresso por meio de revoluções. Nas revoluções científicas, ocorrem mudanças radicais nos pressupostos, objetivos, visões de mundo, modelos, etc., que formam a base da pesquisa científica. Com isso, é possível dizer que a própria comunidade muda, bem como o próprio referencial para o que conta como progresso ou não. Como nos diz Kuhn na penúltima frase do Posfácio de seu livro, “[o] conhecimento científico [...] é intrinsecamente a propriedade comum de um grupo ou então não é nada” (KUHN, 2017 [1970], p. 323). Se os compromissos comuns que definem esse grupo mudam, muda também o grupo e muda também o conhecimento. Esse segundo tipo de progresso é mais difícil de perceber, pois envolve um esforço histórico mais abrangente. O trabalho de Lavoisier originou esse tipo de progresso, mediante o qual modificou-se aquilo que era partilhado pelas pessoas que pesquisavam aquele assunto.

Além da descoberta do oxigênio, Kuhn discute mais duas descobertas no artigo “A estrutura histórica da descoberta científica”: a do planeta Urano e a dos raios X. A

partir desses três casos, ele identifica três características que podem nos guiar no estudo desse tipo de episódios. A primeira característica se trata do papel da anomalia. O modo como a anomalia surge “[...] exibe ao mesmo tempo as características aparentemente incompatíveis da inevitabilidade e da acidentalidade” (KUHN, 2011 [1962], p. 191). De acordo com Kuhn, essas características apontam para duas condições normais para um processo de descoberta se iniciar. Em primeiro lugar, é preciso ter habilidade para identificar o erro, a anomalia. Em segundo lugar, é preciso haver uma ciência normal em curso. Em suas palavras, “dizer que uma descoberta inesperada começa quando algo saiu errado é dizer que começa quando os cientistas conhecem bem seus instrumentos e sabem qual deve ser o comportamento da natureza” (KUHN, 2011 [1962], p. 192). A segunda característica diz respeito ao que acontece depois da identificação da anomalia. Seguindo Kuhn, ao identificar algo errado, alguns cientistas tentam encaixar a anomalia em uma teoria vigente, outros repensam seus padrões instrumentais e teorias fundamentais. Tudo isso leva tempo, envolvendo observação, experimentação e reflexão contínua. Assim, “[...] as descobertas têm uma história íntima que lhes é própria, assim como uma pré-história e uma pós-história” (KUHN, 2011 [1962], p. 192). A terceira característica identificada pelo autor está relacionada aos momentos finais do processo de descoberta e as suas consequências. No que se refere à classe de descobertas perturbadoras, Kuhn explica que elas fazem mais do que somar algo ao conhecimento científico. Elas também o modificam. Por isso, “quando findam a longa batalha contra a anomalia que constitui a descoberta do novo fenômeno, aqueles em cuja área de competência específica ele se situa veem o mundo e seu próprio trabalho com outros olhos” (KUHN, 2011 [1962], p. 193). Para ele, muitas vezes, as modificações se tornam mais importantes do que aquilo que foi acrescentado pela própria descoberta.

2.4 A DESCOBERTA NA PERSPECTIVA DE NERSESSIAN

Tais modificações envolvem a criação conceitual, tema central da pesquisa de Nersessian em *Creating Scientific Concepts* (2008). Para ela, abordar esse assunto é fundamental para entender a criatividade científica. Em sua investigação, a autora adota uma perspectiva naturalista — trata-se do ponto de vista que defende que a filosofia deve assumir resultados, e muitas vezes também métodos, das ciências naturais, para que possa estudar adequadamente o processo de descoberta científica.

De acordo com Luiz Henrique de Araújo Dutra (2019), o naturalismo é uma posição que levanta o

[...] problema de saber se quando conhecemos o mundo, quando representamos as coisas à nossa volta para entendê-las melhor, quando elaboramos, pois, nossas teorias, quando as testamos com base em observações e as avaliamos de outras maneiras, estamos tratando de um fenômeno natural, ao lado de outros que as ciências da natureza podem estudar, ou estamos tratando de algo que escapa ao domínio da natureza e que, portanto, nos levaria a outras formas de reflexão (DUTRA, 2019, p. 92-93).

Por um lado, se tratarmos o conhecimento como um fenômeno natural, podemos ser levados a pensar que a epistemologia, enquanto disciplina, deve ser reduzida à psicologia, apenas descrevendo como alcançamos o conhecimento; por outro lado, se não o tratarmos como um fenômeno natural, ou seja, como algo que para alcançarmos é necessário atender a certos critérios, a epistemologia mantém o seu lugar enquanto disciplina. No primeiro caso, há um aspecto descritivo e no segundo um aspecto normativo, como vimos no início deste capítulo. Contudo, é possível uma posição intermediária, posição que desconsidera a distinção entre contextos comentada anteriormente, em que há lugar tanto para a descrição quanto para a prescrição de normas. Por exemplo, “[...] determinadas descobertas sobre como funciona o conhecimento humano poderiam nos levar a conceber estratégias metodológicas destinadas, por exemplo, a melhorar nosso próprio desempenho cognitivo” (DUTRA, 2019, p. 94). Nas palavras de Nersessian:

Na filosofia da ciência, a perspectiva naturalista é uma filosofia completamente pragmática enraizada no estudo do que os cientistas fazem. Isso não significa que uma epistemologia normativa deva ser abandonada. As recomendações normativas podem derivar do exame de práticas que deram frutos em investigações científicas e da determinação, na medida do possível, das características que as tornam práticas bem-sucedidas — ainda que falíveis (NERSESSIAN, 2008, p. 4).

Tendo em mente que o naturalismo se apresenta de várias formas na história da filosofia, ela especifica os princípios nos quais sua pesquisa está baseada, a saber:

1. As teorias filosóficas do conhecimento científico precisam ser informadas pela melhor compreensão científica disponível do sujeito cognoscente, conforme desenvolvido nas ciências biológicas,

cognitivas e sociais. 2. As teorias filosóficas do conhecimento científico precisam ser informadas pelas práticas de construção do conhecimento usadas pelos cientistas tanto ao longo da história do desenvolvimento do conhecimento científico quanto na prática contemporânea. 3. Métodos empíricos, como análise histórica, experimentação psicológica, etnografia e modelagem computacional, podem ser empregados no desenvolvimento e teste de hipóteses filosóficas (NERSESSIAN, 2008, p. 4).

Ao olhar para a prática científica a partir dessa perspectiva, ela enfoca os processos e não os produtos, as práticas e não as estruturas (NERSESSIAN, 2008). A autora não quer apenas a influência da história, da psicologia, etc., em seu trabalho, ela quer desenvolver uma análise integrativa e para isso ela utiliza o que chama de método histórico-cognitivo.

Segundo Nersessian, o método envolve reunir registros históricos dos mais variados tipos, como cadernos, diários, correspondências, rascunhos, publicações, entre outros, para poder compreender como as práticas se desenvolveram e a partir de quais delas novos conceitos surgiram. A análise desses dados empíricos é realizada “[...] à luz da compreensão científica atual sobre o que e como as capacidades e limitações cognitivas humanas podem estar subjacentes, facilitar e [restringir as práticas investigativas]” (NERSESSIAN, 2008, p. 6). De acordo com ela, a hipótese de que as práticas científicas estão em um continuum com as práticas cotidianas, ou seja, não diferem em tipo mas apenas em grau, é o que fundamenta o método. Para a autora, “os cientistas estendem e refinam as estratégias cognitivas básicas em tentativas explícitas e reflexivas de criar métodos para sondar e compreender a natureza” (NERSESSIAN, 2008, p. 6). Esse método nos leva ao estudo da influência mútua entre o individual, o comunitário e o contexto, pois

embora grande parte do trabalho de criação de conceitos seja realizado por indivíduos, mesmo quando uma cientista solitária luta com um problema isolada em seu estudo ou laboratório, ela está envolvida em um processo sociocultural. Situa-se em uma situação-problema e utiliza ferramentas conceituais, analíticas e materiais derivadas de um rico contexto sociocultural. Ela está ciente de que os frutos de seu trabalho serão submetidos ao escrutínio crítico de sua comunidade. Mas, igualmente, ela usa o tipo de cognição sofisticada que somente ambientes sociais, culturais e materiais ricos podem possibilitar (NERSESSIAN, 2008, p. 7).

Para dar conta disso, a autora encontra base na ciência cognitiva contemporânea, que vai além de um relato logicista e apresenta uma visão sistêmica da cognição humana.

As perspectivas que ela chama de ambientais “[...] tornam a ação humana o ponto focal para a compreensão da cognição e enfatizam que os ambientes sociais, culturais e materiais são essenciais para a cognição” (NERSESSIAN, 2008, p. 8). Seguindo Nersessian, dentro dessas perspectivas, podemos encontrar as ideias de que a cognição é corporificada [*embodied*], inculturada, distribuída e situada.

Notamos dessa forma que, ao concentrar-se na questão da descoberta e ao assumir uma postura naturalista, Nersessian precisa lidar com o problema do método da epistemologia, o qual já preocupava autores como Popper e Reichenbach nas primeiras décadas do século XX. Isto é, a autora parece reconhecer que a questão da descoberta é uma questão empírica, que não pode ser trabalhada pelos métodos filosóficos mais tradicionais, como o método hermenêutico ou mesmo como o moderno método de análise lógica. No entanto, ela adota uma estratégia diferente daquela adotada por tais autores, que deixaram de lado o problema de como acontecem as descobertas. Nersessian assume a perspectiva de autores como Kuhn, Hanson e Feyerabend, adicionando métodos empíricos e métodos mais rigorosos de pesquisa histórica ao repertório da filosofia. Em outras palavras, ela compreende que, para investigar adequadamente como acontecem as descobertas na ciência, é preciso adotar alguma metodologia empírica, seja na psicologia, seja na história, seja em alguma outra área das humanidades; mas ela compreende também que isso não é motivo para deixar o problema de lado ou para atribuí-lo a outra área. No caso, Nersessian adota o método que ela chama de histórico-cognitivo, o qual, como o próprio nome revela, emprega ferramentas da história para coletar seu material de estudo e também das ciências cognitivas para analisar esse material. A partir disso, ela produzirá uma descrição dos processos de descoberta. No próximo capítulo, nos aprofundaremos em uma forma de raciocínio que não possui uma receita ou orientações para ser realizado, nem sempre leva a soluções e pode até levar a soluções incorretas, mas, segundo Nersessian, está presente nos momentos de mudança conceitual, não só na ciência como também no nosso cotidiano.

3 RACIOCÍNIO BASEADO EM MODELOS

3.1 RACIOCÍNIO E LÓGICA

A pergunta “O que é o raciocínio?” pode parecer difícil de responder, em um primeiro momento, mas talvez você já esteja familiarizado com parte da resposta. Provavelmente, você já vivenciou a situação de ser interrompido no momento em que está explicando algo a alguém; nesses casos, uma frase comumente dita é “eu perdi a minha linha de raciocínio”. Ou, quem sabe, você já tentou tomar uma decisão complexa depois de um longo e cansativo dia de trabalho; caso não esteja conseguindo, é habitual dizer “não estou mais raciocinando direito”. É possível também que você já tenha reparado que em cenas de crise em filmes ou desenhos animados, como quando o barco está prestes a afundar ou quando os mocinhos foram encurralados pelos vilões, frases do tipo são enunciadas pelos protagonistas “pensa, pensa, pensa” ou “eu preciso pensar!”. Por fim, suponho que você já tenha se deparado com um “desafio de raciocínio”, em que precisa dizer qual o próximo resultado da sequência de cálculos apresentados, sendo que alguns dos números desses cálculos foram substituídos por frutas.

Pensando nos exemplos acima, a expressão “perdi a minha linha de raciocínio” parece apontar que o raciocínio possui algum tipo de sequência; assim como a expressão “não estou raciocinando direito” pode sugerir que raciocinar envolve certas diretrizes. Além disso, as frases “pensa, pensa, pensa” e “eu preciso pensar!”, em momentos de crise, parecem indicar que o indivíduo precisa encontrar uma solução e não “apenas” pensar. Isto é, é preciso um pensamento que ofereça um resultado, dada a situação em que se encontra. De forma semelhante, o “desafio de raciocínio” apresenta um problema a ser resolvido. Compilando essas impressões, poderíamos dizer que o raciocínio aparenta possuir alguma sequência de informações organizadas de acordo com certas diretrizes, com o objetivo de encontrar uma solução ou resolver um problema.

Tendo em mente esse rascunho de compreensão, parece razoável dizer que na maior parte do tempo nós estamos raciocinando mesmo sem perceber. “Meu computador está muito lento, como fazer para ele voltar ao normal?”, “O gás acabou, o que vou preparar para o almoço?”, “Minha máscara PFF2 está inutilizável, como posso me proteger adequadamente para ir ao supermercado?”, etc. Apesar disso,

nosso esboço do que é o raciocínio não nos diz nada sobre como estamos fazendo isso e se o estamos fazendo corretamente, além de que ainda poderíamos questionar, mais especificamente, qual a forma dessa sequência, quais são essas diretrizes e quem as determina. Assim sendo, embora essa compreensão rascunhada tenha nos dado uma pista, para compreender melhor esse tópico precisaremos ir além das nossas experiências cotidianas com o termo.

Uma área da filosofia que é reconhecida por ter entre seus objetos de estudo o raciocínio, é a lógica. Em *Introdução à Lógica* (2001), Cezar A. Mortari afirma que podemos chamar de raciocínio, ou “processo de inferência”, aquele processo que ocorreu no cérebro de uma pessoa ao tentar resolver um problema “[...] que fez com que [ela] passasse a acreditar numa certa conclusão [...]” (2001, p. 4). Todavia, ele ressalta que

[...] não é de interesse da lógica investigar *como* esse processo ocorre, ainda que a lógica muitas vezes seja caracterizada como a ‘ciência do raciocínio’, ela não se considera de modo algum parte da psicologia. A lógica não procura dizer como as pessoas raciocinam (mesmo porque elas ‘raciocinam errado’ muitas vezes), mas se interessa primeiramente pela questão de se aquelas coisas que sabemos ou em que acreditamos — o ponto de partida do processo — de fato constituem uma boa razão para aceitar a conclusão alcançada, isto é, se a conclusão é uma consequência daquilo que sabemos (MORTARI, 2001, p. 6)

Nesse sentido, a lógica está numa posição de avaliar o raciocínio das pessoas e não de descrever como ele ocorre em seus cérebros, trabalho este atribuído à psicologia. Segundo Mortari (2001), entre as ocupações centrais da lógica estão as de avaliar se a conclusão de um raciocínio é consequência lógica das premissas adotadas e investigar regras de inferência e o seu emprego no raciocínio. Para os objetivos deste trabalho, focarei na primeira ocupação.

Conforme o autor, quando um raciocínio possui uma conclusão que é consequência lógica das premissas adotadas, ele é chamado de raciocínio — ou argumento — válido. De forma mais específica, “um argumento é válido se qualquer circunstância que torne suas premissas verdadeiras faz com que sua conclusão seja automaticamente verdadeira” (MORTARI, 2001, p. 19). Sendo assim, mesmo que as premissas e a conclusão sejam falsas ou que haja apenas uma premissa falsa, o raciocínio pode ser considerado válido; por outro lado, o raciocínio é classificado como inválido se contiver somente premissas verdadeiras e uma conclusão falsa

(MORTARI, 2001). Dito isso, é interessante destacar que aquilo que é conhecido como raciocínio dedutivo é entendido de forma muito semelhante ao raciocínio válido, “[...] tudo o que está dito na conclusão já foi dito, ainda que implicitamente, nas premissas” (MORTARI, 2001, p. 23). De acordo com Mortari (2001), é por essa razão que comumente esse tipo de raciocínio é chamado de não-ampliativo, porque a conclusão não vai além das premissas. Vejamos um exemplo desse tipo de raciocínio:

- (i) Todo cientista é ser humano.
- (ii) Todo ser humano erra.
- Todo cientista erra.

No exemplo acima, (i) e (ii) são as premissas a partir das quais se chegou à conclusão. Se todo cientista é ser humano e se todo ser humano erra, *então*, todo cientista erra. A premissa (i) pode ser entendida como uma regra e a premissa (ii) como um caso que está sendo analisado a partir dessa regra. Dessa forma, a conclusão deve indicar se o caso se encaixa ou não na regra e, portanto, não vai além das premissas.

No entanto, ao contrário do raciocínio dedutivo, há um tipo de raciocínio em que se parte de um conjunto de observações e se tira uma conclusão que vai além das premissas ou observações em questão, isto é, é considerado ampliativo e é conhecido como raciocínio indutivo (MORTARI, 2001). Seguindo Mortari (2001), nesse raciocínio o objetivo é oferecer uma conclusão que seja provavelmente verdadeira e isso é possível ao raciocinar por meio de analogias ou utilizando probabilidades. Um exemplo de raciocínio indutivo via analogia pode ser o seguinte:

- (i) A varíola foi erradicada devido à vacinação da população.
- (ii) A poliomielite foi erradicada devido à vacinação da população.
- A COVID-19 será erradicada devido à vacinação da população.

As premissas (i) e (ii) são fatos históricos e a conclusão traz algo além desses fatos, mas que possui semelhança com eles. Tanto a poliomielite quanto a varíola são doenças causadas por vírus que levaram a muitas mortes e que foram erradicadas por meio da vacinação da população. A COVID-19 é causada por um coronavírus e, atualmente, provocou quase 6 milhões de mortes ao redor do mundo. Apesar disso,

os dados apontam que, assim que parte da população mundial completou seu esquema vacinal, o número de óbitos devido à doença diminuiu significativamente. Então, a partir dessas semelhanças, podemos induzir que o mesmo poderá acontecer no caso da COVID-19.

Agora, um exemplo de um raciocínio indutivo utilizando probabilidades:

- (i) 7% dos brasileiros entrevistados acreditam que o formato da Terra é plano.
- 7% de todos os brasileiros acreditam que o formato da Terra é plano.

O raciocínio em questão pode ser encontrado em uma pesquisa do Instituto DataFolha, publicada em julho de 2019.⁶ Foram entrevistadas 2.086 pessoas, maiores de 16 anos, em 103 cidades do Brasil. Esse grupo de pessoas é chamado de amostra e representa, segundo o método estatístico adotado na pesquisa, a totalidade da população brasileira, por meio das características dos participantes. Levando em consideração que 7% dos entrevistados acreditam que o formato da Terra é plano, então, estima-se, a partir de um raciocínio indutivo utilizando probabilidades, que 7% de todos os brasileiros acreditam que o formato da Terra é plano.

Há ainda um outro tipo de raciocínio conhecido como raciocínio abdutivo, popularizado na filosofia principalmente por meio do filósofo Charles Sanders Peirce. De acordo com Atocha Aliseda (2006), de modo geral, podemos entender que nós raciocinamos por meio de abdução quando nos deparamos com um caso intrigante e precisamos explicá-lo. Segundo ela, uma característica geral das abduções é que “[...] uma explicação abdutiva é sempre uma explicação com respeito a algum conjunto de crenças” (ALISEDA, 2006, p. 30), mas ela também destaca que esse não é o único parâmetro que cumpre uma função nesse processo e que é possível encontrar vários fatores complicadores como, por exemplo, ter explicações competidoras para o mesmo caso, ao invés de uma única explicação óbvia (ALISEDA, 2006). A autora explica que “[...] devemos entender a abdução como um raciocínio que parte de uma única observação para explicações abdutivas [...] [e] depende de uma teoria de fundo para construir e testar suas explicações abdutivas” (ALISEDA, 2006, p. 35). Vejamos o exemplo dado por ela:

⁶ (cf. GARCIA, 2019).

Você entra em sua casa tarde da noite e percebe que a luz do seu quarto, que está sempre acesa, está apagada. Está chovendo muito forte e então você acha que alguma linha de energia caiu, mas as luzes no resto da casa funcionam bem. Então, você se pergunta se deixou os dois aquecedores ligados, algo que geralmente faz com que os disjuntores desarmem, então você os verifica: mas eles estão OK. Finalmente, uma explicação mais simples passa pela sua cabeça. Talvez a lâmpada da sua luminária, que você viu pela última vez funcionando bem, tenha queimado e precise ser substituída (ALISEDA, 2006, p. 30).

No exemplo acima, o caso intrigante é a luz do quarto, que está sempre acesa, estar apagada. A pessoa em questão formulou três hipóteses. Duas delas falharam ao serem testadas: a linha de energia não caiu, pois as outras luzes estavam funcionando; os aquecedores não ficaram ligados e, então, o disjuntor não desarmou. Por fim, tendo em mente que outras hipóteses falharam, a terceira hipótese parece ser a mais provável para explicar esse caso.

Dessa forma, para aqueles que estão interessados no processo de justificação de um raciocínio, o ponto de vista lógico é o ideal, pois a partir dele podemos avaliar se a conclusão de um raciocínio é consequência lógica das premissas adotadas, isto é, se estamos justificados a defender determinada conclusão. Contudo, o processo de justificação de um raciocínio não é o único que gera interesse, há autores interessados no processo de criação de um raciocínio, ou seja, em *como* ele acontece e, como foi salientado por Mortari, isso não está entre os objetivos da lógica.

3.2 A BASE DO RACIOCÍNIO BASEADO EM MODELOS

Coerentemente, para analisar esse processo, Nersessian argumenta em seu livro *Creating Scientific Concepts* (2008) que o ponto de vista lógico não é o ideal. Com base em suas pesquisas em história da ciência e em ciências cognitivas, a autora nos informa que “[...] na construção de uma teoria, a modelagem geralmente vem em primeiro lugar, com a abstração para a expressão formal em leis e axiomas de teorias a seguir” (NERSESSIAN, 2008, p. 11). Por conta disso, ela se dedica a estudar aquilo que chama de raciocínio baseado em modelos, tendo como objetivo compreender como os modelos surgem e facilitam o raciocínio sobre os fenômenos alvo (NERSESSIAN, 2008). Ao fazer isso, ela auxilia na desconstrução da ideia de que as criações ou descobertas são frutos de processos irracionais. Além disso, ao analisar

o raciocínio científico a partir de dados provenientes da história da ciência e das ciências cognitivas, Nersessian reconhece que endossa uma forma de naturalismo, estando sua pesquisa baseada em três princípios:

1. As teorias filosóficas do conhecimento científico precisam ser informadas pela melhor compreensão científica disponível do sujeito cognoscente, conforme desenvolvido nas ciências biológicas, cognitivas e sociais.
2. As teorias filosóficas do conhecimento científico precisam ser informadas pelas práticas de construção do conhecimento utilizadas pelos cientistas tanto ao longo da história do desenvolvimento do conhecimento científico quanto na prática contemporânea.
3. Métodos empíricos, como análise histórica, experimentação psicológica, etnografia e modelagem computacional, podem ser empregados no desenvolvimento e teste de hipóteses filosóficas (NERSESSIAN, 2008, p. 4).

Tendo essas ideias em mente, ela desenvolveu o método histórico-cognitivo, a partir do qual os relatos da prática científica

[...] derivam de: (1) dados empíricos sobre práticas científicas, incluindo seus contextos socioculturais; (2) conceitos, métodos e análises da ciência cognitiva; (3) um extenso corpo de literatura sobre práticas científicas nas áreas de estudos sobre a ciência [*science studies*]; e (4) análise filosófica dos problemas e questões (NERSESSIAN, 2008, p. 5).

Dessa maneira, Nersessian propõe uma abordagem na qual filósofos, historiadores, sociólogos, psicólogos, cientistas cognitivos, etc., podem trabalhar juntos na investigação sobre o processo de criação de um raciocínio. E, ao se debruçar sobre o raciocínio baseado em modelos na ciência, é exatamente isso que ela faz.

No capítulo 4 da obra *Creating Scientific Concepts* (2008), Nersessian argumenta em favor daquilo que acredita ser a base cognitiva das práticas de raciocínio baseado em modelos. De acordo com ela, essa base se situa na capacidade humana de pensamento simulativo por meio de modelagem mental. Essa capacidade, por sua vez, está enraizada na habilidade humana de imaginar situações e, mesmo sem exemplos materiais sobre aquilo sob o qual se está raciocinando, fazer inferências sobre os estados futuros dessas situações com base no conhecimento atual (NERSESSIAN, 2008). Levando isso em consideração, segundo ela, seu objetivo é

[...] modesto: fornecer um esclarecimento da ideia de raciocínio por meio da modelagem mental, uma análise integrativa que seja consistente com a pesquisa das ciências cognitivas em casos mundanos e seja adequada como base cognitiva para as práticas de raciocínio científico baseado em modelos, que podem então ser investigadas em pesquisas empíricas e teóricas em ciências cognitivas (NERSESSIAN, 2008, p. 93).

No desenvolvimento dessa análise integrativa, Nersessian tem como ponto de partida o trabalho de Kenneth James William Craik, *The Nature of Explanation* (1943), uma pesquisa pioneira na investigação de ferramentas psicológicas e cognitivas para a filosofia (COLLINS, 2013). De acordo com Nersessian (2008), a obra de Craik recebeu pouca atenção na época em que foi publicada porque a psicologia behaviorista estava em seu auge e Craik adota primariamente uma perspectiva cognitivista. Além disso, Collins (2013) ressalta também a resistência de alguns filósofos britânicos, desde a década de 1930, sobre a aproximação da filosofia com a psicologia, aproximação essa que pode ser percebida no trabalho de Craik. Contudo, segundo Nersessian (2008), na década de 1960, o desenvolvimento de uma psicologia cognitivista possibilitou uma recepção mais amistosa das ideias de Craik e, por conta disso, a nova edição de seu livro em 1967, com um pós-escrito respondendo aos críticos, foi marcante e impactou a ciência cognitiva contemporânea (NERSESSIAN, 2008). No que diz respeito à filosofia, Collins (2013, p. 97) aponta que “[...] *The Nature of Explanation* é em grande parte um trabalho filosófico e a filosofia era muito mais importante na carreira de Craik do que é correntemente notado”. É nessa obra que Craik fala sobre a criação de modelos mentais. Embora Philip N. Johnson-Laird seja amplamente reconhecido por pesquisar sobre modelos mentais, conforme Collins (2013), Craik é frequentemente citado como sendo o primeiro a falar sobre isso. Inclusive, de acordo com Nersessian (2008), o próprio Johnson-Laird, assim como ela, possui raízes no trabalho de Craik. A partir disso, seguindo Nersessian (2008), foi no início da década de 1980, que a noção de modelo mental se popularizou, aparecendo em diferentes linhas de pesquisa nas ciências cognitivas. Em especial, ela destaca a publicação de uma coleção por Dedre Gentner & Albert L. Stevens e o texto de Johnson-Laird, que não só foram publicados em 1983, mas também tiveram o mesmo título, *Mental Models* (NERSESSIAN, 2008). Uma diferença importante entre esses trabalhos, destacada por Nersessian (2008), é que o primeiro

foca nos modelos mentais na memória de longo prazo e o segundo na memória de trabalho. Apesar dessa e outras diferenças entre as linhas de pesquisa sobre esse tema, há um certo acordo de que esses modelos são “[...] unidades organizadas de representação mental do conhecimento que são empregadas em várias tarefas cognitivas, incluindo raciocínio, resolução de problemas e compreensão do discurso” (NERSESSIAN, 2008, p. 93).⁷ Contudo, para a filósofa, as seguintes questões não ganharam a atenção devida:

O que é um “modelo mental”? Como é representado? Que tipo de processamento está subjacente ao seu uso? Quais são os mecanismos mentais que criam e usam modelos mentais? Como a modelagem mental envolve representações e processos externos? (NERSESSIAN, 2008. p. 93).

São essas as questões que interessam a Nersessian. Portanto, tendo em mente que seu foco é a modelagem mental durante os processos de raciocínio, ela teve como base as pesquisas focadas na memória de trabalho — pesquisas que se ocuparam do raciocínio, da narrativa e da compreensão do discurso —, ressaltando que se mantém agnóstica sobre a natureza da representação na memória de longo prazo (NERSESSIAN, 2008). Para além disso, como seu interesse está em um campo específico, a prática científica, Nersessian visa a noção de raciocínio simulativo de Craik, tópico no qual, segundo ela, Johnson-Laird não trabalhou.

A necessidade dos seres humanos de serem capazes de prever os movimentos do ambiente ao seu redor para sobreviverem, fez com que Craik percebesse a simulação mental como essencial para o raciocínio. Nas palavras de Nersessian, Craik hipotetizou que “[...] em muitos casos, as pessoas raciocinam realizando experimentos de pensamento em modelos internos de situações físicas, onde um modelo é um análogo estrutural, comportamental ou funcional de um fenômeno do mundo real” (NERSESSIAN, 2008, p. 92). Para ele, os modelos mentais, envolvidos em uma simulação, apresentam uma relação estrutural [*relation-structure*], o que significa que o modelo “[...] funciona da mesma maneira que o processo com o qual faz um paralelo, nos aspectos em consideração em qualquer momento” (CRAIK, 1943, p. 51), não precisando ter semelhança pictórica com o objeto, processo ou fenômeno real. Seguindo a interpretação que Nersessian (2008) faz desse trecho de

⁷ Para uma discussão mais aprofundada sobre o conceito de representação mental, cf. Pitt (2022).

Craik, os fenômenos representados por um modelo mental, então, estão em conformidade com as restrições desses mesmos fenômenos no mundo real. Dessa maneira, ela ressalta que não é “[...] como um ‘filme na cabeça’, o que [significaria] representações visuais vívidas e detalhadas ‘em execução’ em tempo real” (NERSESSIAN, 2008, p. 107). Da mesma forma, Nersessian chama nossa atenção para quando Craik menciona que

se o organismo carrega um “modelo em pequena escala” da realidade externa e de suas próprias ações possíveis dentro de sua cabeça, ele é capaz de experimentar várias alternativas, concluir qual é a melhor delas, reagir a situações futuras antes que elas surjam, utilizar o conhecimento de eventos passados para lidar com o presente e o futuro, e de todas as maneiras para reagir de maneira muito mais completa, segura e competente às emergências que enfrenta. (CRAIK, 1943, p. 61)

Nersessian (2008, p. 107) interpreta o uso de aspas no trecho acima como uma indicação de que ele está falando de forma figurativa “[...] e não que o cérebro cria literalmente, por exemplo, a imagem de um barco de pequena escala cujo movimento simula como em um filme”. Para tornar a noção de simulação mental mais intuitiva, Nersessian sugere que pensemos em uma situação em que estamos diante de uma porta e precisamos passar um sofá por ela. Nessa circunstância, ela destaca que não é habitual que elaboremos uma série de proposições e apliquemos regras lógicas ou realizemos cálculos trigonométricos; pelo contrário, ela diz que o que entra em cena nessas situações é o uso do “[...] conhecimento comportamental e causal específico da situação [*situation-specific*] (que não precisa ser explícito) de características sobre sofás e portas [...]” (NERSESSIAN, 2008, p. 106). Em outras palavras, geralmente, o nosso primeiro movimento mental é levar em consideração aquilo que já sabemos sobre ambos; sofás geralmente não podem ser encolhidos, assim como portas não podem ser distendidas, isto é, ambos não são flexíveis (NERSESSIAN, 2008). Assim, apoiados nesse conhecimento, iremos “[...] imaginar ou encenar mentalmente o movimento de um símbolo mental que se aproxima da forma do sofá por meio de várias rotações restringidas pelos limites de uma forma semelhante a uma porta” (NERSESSIAN, 2008, p. 106).⁸

⁸ Nersessian não deixa claro se a simulação ocorre durante o processo de raciocínio ou pode ser considerada o próprio processo de raciocínio. Dessa forma, pode se questionar se o exemplo de passar o sofá pela porta é um exemplo de simulação ou um exemplo de raciocínio. Isto é, o que se obtém com a simulação do sofá que precisa passar pela porta é claramente uma forma de “saber-

O tipo de modelo envolvido nessas simulações mentais, de acordo com Nersessian (2008), são modelos conceituais. Esses modelos “[...] são sistemas imaginários projetados para serem análogos estruturais, funcionais ou comportamentais dos fenômenos-alvo. [Eles] são dinâmicos, de modo que estados futuros podem ser determinados através da simulação mental do modelo” (NERSESSIAN, 2008, p. 12). Para além disso, ela caracteriza esse tipo de modelo mental como uma representação icônica, em contraposição a uma representação proposicional.⁹ Essa distinção de “[...] formato é importante porque diferentes tipos de representação [...] permitem diferentes tipos de operações de processamento” (NERSESSIAN, 2008, p. 96). Para a autora, entre as representações icônicas, estão os modelos análogos, diagramas e representações imagéticas; já entre as representações proposicionais, estão operações na linguagem e em fórmulas, como as utilizadas na lógica e na matemática. Ela explica que, enquanto as representações icônicas representam demonstrativamente, as representações proposicionais referem descritivamente. Por conta disso, a relação que a representação icônica mantém com aquilo que demonstra é uma relação de similaridade, ao passo que a relação que a representação proposicional mantém com aquilo ao qual se refere é uma relação de correspondência. Desse modo, as representações são avaliadas de maneiras diferentes, aquelas que são icônicas são avaliadas como precisas ou imprecisas; já aquelas que são proposicionais são avaliadas como verdadeiras ou falsas (NERSESSIAN, 2008). Como mencionado acima, por diferirem em formato, as operações possíveis em cada tipo de representação são diferentes. Conforme Nersessian (2008, p. 97), nas representações icônicas, as operações são “[...] transformações [nas] representações que mudam suas propriedades e relações de maneiras consistentes com as restrições do domínio”. Isso é diferente das operações em representações proposicionais, que “[...] são baseadas em regras e preservam a verdade se os símbolos são interpretados de maneira consistente e as propriedades às quais eles se referem são estáveis naquele domínio”.

como” e não uma forma de “saber-que” (cf. RYLE (1945-46), para a distinção clássica). Recorrendo a essa noção para clarificar a proposta de Nersessian, dessa forma, a simulação da manipulação de modelos mentais parece ser uma habilidade fundamental para realizar raciocínios e obter conhecimento proposicional.

⁹ Com relação ao conceito de proposicional, Nersessian (2008) está “[...] seguindo o uso filosófico usual que se refere a uma codificação semelhante à linguagem que possui vocabulário, gramática e semântica [...], em vez do uso às vezes empregado na ciência cognitiva, como coextensivo com ‘simbólico’” (p. 97).

No interior dessa distinção entre os formatos icônico e proposicional, há ainda uma outra: representações icônicas e proposicionais podem envolver símbolos modais ou amodais. Sobre isso, Nersessian (2008, p. 98) explica que “os símbolos modais são representações analógicas dos estados perceptivos dos quais são extraídos [e] os símbolos amodais são transduções arbitrárias de estados perceptivos, como aqueles associados a uma ‘linguagem de pensamento’”. O exemplo dado por ela envolve o animal gato: o formato das suas patas, das suas orelhas ou do seu corpo pode ser considerado um símbolo modal que representa um gato; em contraponto, as palavras “gato” ou “felino” podem ser consideradas uma combinação de símbolos amodais representando um gato. Dito de outro modo, símbolos modais envolvem aspectos perceptivos daquilo que representam, enquanto símbolos amodais possuem uma relação arbitrária com aquilo que representam. Dessa forma, tendo em mente a relação entre as representações e os símbolos, para Nersessian (2008), as representações icônicas podem envolver símbolos modais, símbolos amodais e até uma combinação entre eles, diferente das representações proposicionais que, no sentido discutido por ela, envolvem apenas símbolos amodais. Assim sendo, do mesmo modo que o formato da representação é importante porque determina o tipo de operação possível nela, o tipo de símbolo envolvido também é, pois

[...] tem implicações em como essas representações são construídas e manipuladas. A construção de uma representação modal, por exemplo, envolve potencialmente uma reativação de padrões de atividade neural nas áreas perceptuais e motoras do cérebro que foram ativadas na experiência inicial de algo. Assim, é provável que a manipulação da representação envolva processamento perceptivo e motor, ao passo que uma representação amodal é tipicamente considerada como não envolvendo tal processamento (NERSESSIAN, 2008, p. 98)

Por conta disso, aqueles que se dedicam a essa discussão, especificam que tipo de representação e símbolo estão envolvidos. Por exemplo, Nersessian relata que, de um lado, Holland, Holyoak, Nisbett e Thagard argumentam em favor de representações proposicionais com símbolos amodais; de outro, Schwartz e Black defendem representações icônicas com símbolos modais; e, ainda, entre eles, segundo ela, na perspectiva de Johnson-Laird as representações são icônicas com símbolos amodais. De acordo com Nersessian (2008, p. 99), embora existam questões em aberto e a discussão sobre o formato da representação na memória de

trabalho ainda seja multifacetada, “[...] a pesquisa que investiga o raciocínio sobre os sistemas físicos leva à direção icônica” e sua pesquisa está entre essas. Para ela, sua

[...] análise do raciocínio baseado em modelos precisa apenas adotar uma hipótese minimalista: em certas tarefas de resolução de problemas, os humanos raciocinam construindo e manipulando um modelo mental icônico das situações, eventos e processos na memória de trabalho. A hipótese deixa em aberto, entretanto, as questões da natureza das representações na memória de longo prazo, e se a representação da memória de trabalho empregada no raciocínio tem constituintes amodais ou modais. [Contudo], farei a hipótese mais forte de que essas representações têm aspectos modais. (NERSESSIAN, 2008, p. 99)

Logo, a posição de Nersessian nesse debate pode ser considerada como semelhante à de Schwartz e Black e à de Johnson-Laird. Isso porque, como eles, ela entende os modelos mentais como representações icônicas; no entanto, diferente deles, ela parece aceitar o envolvimento dos dois tipos de símbolos nas representações, amodais e modais.

Todavia, há outros aspectos importantes relacionados à posição da filósofa nesse debate que vêm à tona quando ela investiga diferentes áreas das ciências cognitivas. Há duas razões pelas quais ela empreende essa investigação: a busca por evidências para a noção de raciocínio simulativo de Craik, que é central para a sua hipótese minimalista; e a necessidade de ir além da ciência cognitiva tradicional, área comumente focada em representações internas, para dar conta do domínio científico, no qual há uma série de representações externas envolvidas. Assim, sua investigação perpassa pesquisas sobre modelos de discurso e de situações, simulação mental espacial, animação e simulação mental, acoplamento representacional interno-externo e representação mental corporificada [*embodied*].

De acordo com a linha de pesquisa sobre modelos de discurso e situações, ao ler, compreender e raciocinar, “[...] as inferências [...] são derivadas da construção e manipulação de um modelo mental da situação representada pela narrativa, em vez da aplicação de regras de inferência a um sistema de proposições que representam o conteúdo do texto” (NERSESSIAN, 2008, p. 108). Isso porque, segundo a autora, de acordo com esses estudos, a linguagem auxilia, aquele que lê ou ouve, a construir um modelo mental que tenha em si as restrições da narrativa embutidas, “[...] tornando implícitas muitas consequências que exigiriam um trabalho inferencial considerável para derivar na forma proposicional” (p. 109). Entendendo dessa forma, ao raciocinar,

o referente do texto é um modelo interno da situação retratada por ele e não uma descrição. As pesquisas que servem de apoio a essas ideias mostram que os participantes, mesmo sem nenhuma orientação para imaginar ou descrever as situações, quando são questionados sobre como fizeram as inferências relatam que “[...] foi por meio de ‘ver’ ou ‘estar na situação’ retratada. Ou seja, o leitor se vê como um ‘observador’ de uma situação simulada” (NERSESSIAN, 2008, p. 109). Segundo ela, ainda é uma questão em aberto se essa visão do participante é “espacial” ou “perspectiva”, mas ela ressalta que as pesquisas atuais têm defendido que “[...] o referencial do espaço parece ser o do corpo” (NERSESSIAN, 2008, p. 109), isto é, uma visão perspectiva.

Somado ao exposto acima, as pesquisas sobre simulação mental espacial fornecem “[...] evidências de que os humanos podem realizar várias transformações simulativas na imaginação que imitam as transformações espaciais físicas” (NERSESSIAN, 2008, p. 110). Segundo os estudos analisados pela autora, tais transformações simulativas podem envolver rotacionar, transladar, curvar, dimensionar, dobrar, ampliar e inverter imagens e, ainda, “[...] são hipotetizadas para ocorrer de acordo com restrições internalizadas assimiladas durante a percepção” (NERSESSIAN, 2008, p. 110). Além disso, de acordo com ela, outra pesquisa indica que as pessoas fazem combinações dessas transformações imaginárias com diferentes tipos de conhecimento de situações físicas. No que se refere às transformações simulativas rotacionais, Nersessian (2008, p. 110) destaca três pontos: em primeiro lugar, quando as pessoas realizam esse tipo de transformação, pesquisadores identificaram “[...] latências consistentes com realmente girar uma figura mental [...]” e “[...] uma correlação entre o tempo que os participantes levam para responder e o número de graus de rotação necessários”; em segundo lugar, há evidências dessas transformações de figuras planas e modelos tridimensionais; e, em terceiro lugar, pesquisas mostram que, frequentemente, esse tipo de transformação é acompanhada pelo movimento das mãos para representar a rotação, “[...] o que indica o processamento motor e visual” (NERSESSIAN, 2008, p. 110). É importante destacar que o motivo pelo qual Nersessian adentra essa literatura sobre imagens não é para alegar que modelos mentais são como imagens, mas porque ela acredita que esses estudos fornecem evidências para “[...] a hipótese de que o sistema cognitivo humano é capaz de processamento transformativo no qual as transformações espaciais em

representações icônicas são feitas por meio de processos perceptivos e motores” (NERSESSIAN, 2008, p. 111).

Contudo, ao examinar o campo de pesquisa sobre animação e simulação mental, Nersessian percebe que o raciocínio baseado em modelos envolve mais do que transformações espaciais, incluindo também transformações de sistemas físicos que, por sua vez, exigem conhecimento causal e comportamental. Essas transformações envolvem a habilidade humana de animar e simular mentalmente, habilidade essa que é fundamental para a proposta Craikiana (NERSESSIAN, 2008). As pesquisas nessa área mostram que diagramas, figuras, vídeos ou mesmo a observação de uma ação podem motivar ou interferir em uma animação ou simulação mental, o que indica uma interação entre representações externas e internas (NERSESSIAN, 2008). Dentre esses estudos, Nersessian destaca as pesquisas sobre o raciocínio a respeito do comportamento de sistemas de polias, de Mary Hegarty, e acerca de rotações de engrenagens, de Daniel Schwartz. Em ambas investigações, tanto sobre polias quanto sobre engrenagens, os participantes não animam mentalmente o sistema em uma única vez, “[...] mas o animam em segmentos na sequência causal, trabalhando de forma fragmentada as consequências do movimento anterior para o próximo segmento” (NERSESSIAN, 2008, p. 113). Além disso, de acordo com essas pesquisas, quanto mais realistas são as figuras, melhor é o desempenho dos participantes. Entretanto, para além desses casos em que as representações externas, as figuras, motivam a animação ou simulação mental, há casos em que essas podem interferir, dificultando a ação motora, ou interagir, ativando áreas de ação do cérebro (NERSESSIAN, 2008). Em relação ao primeiro caso, Nersessian explica que realizar uma ação X, enquanto se observa uma ação Z, que é incongruente com a ação X, pode fazer com que essa ação tenha o seu desempenho prejudicado, diferentemente de quando se observa uma ação Y que é congruente com a ação X. Já sobre o segundo caso, Nersessian (2008, p. 114) diz que “experimentos de neuroimagem mostram que as mesmas áreas do cérebro são ativadas durante a ação e imagens motoras da mesma ação”, isto é, quando observamos alguém realizando uma ação X, nosso cérebro se comporta como se nós estivéssemos realizando aquela ação, ativando as mesmas áreas de quando, de fato, nós realizamos aquela ação.

Em continuidade com as discussões acima, as pesquisas sobre acoplamento representacional interno-externo enfocam a interação entre representação interna e

externa, que apareceu seguidamente nas investigações citadas anteriormente. Nesse caso, a questão é “como a capacidade mental pode interagir com recursos relevantes no mundo externo?” (NERSESSIAN, 2008, p. 115). Na perspectiva tradicional da ciência cognitiva, essa interação não é negada, no entanto, a representação externa é entendida como um auxílio e o processamento cognitivo é considerado interno à mente individual (NERSESSIAN, 2008). De forma oposta, Nersessian comenta que há aqueles que defendem que o processamento cognitivo não necessita de representações internas, mas apenas recursos externos. Diferente dessas duas posições extremas, ela leva em consideração que, “dada a complexidade de alguns raciocínios humanos, e o raciocínio científico em particular, resolver muitos tipos de problemas sem representações internas parece tão implausível quanto resolvê-los sem recursos externos” (NERSESSIAN, 2008, p. 117). Para Nersessian, mundo interno e externo formam um sistema cognitivo acoplado e o raciocínio baseado em modelos é realizado por esse sistema, que é composto por pessoas, artefatos e representações externas. Atentando à história da ciência, ela identifica uma série de representações externas, a saber, descrições, narrativas, textos, equações matemáticas, representações visuais, gestos, modelos físicos e computacionais. Conforme algumas pesquisas nessa área analisadas pela autora, o modo como essas representações são incorporadas [*incorporate*] no processamento cognitivo é determinado pela importância que elas têm na resolução de uma atividade cognitiva, que é julgada de acordo com cada situação, não podendo ser estabelecida anteriormente em uma estrutura mental pré-determinada (NERSESSIAN, 2008). A autora também chama a atenção para o fato de que, embora a pesquisa de Zhang e Norman mostre que há representações externas que “[...] facilitam e restringem diferencialmente os processos de raciocínio” (NERSESSIAN, 2008, p. 118), há também aquelas que não oferecem nenhuma facilitação, como diagramas que envolvem símbolos amodais — apesar de diagramas com símbolos modais oferecerem — seguindo Bauer e Johnson-Laird.

Essa discussão sobre símbolos modais e amodais nas representações não se restringe às representações externas, mas também abrange as representações internas. No caso dessas, a questão é sobre quais são os símbolos constituintes da representação da memória de trabalho empregada no raciocínio, diferente das representações externas, onde a questão é sobre as consequências do uso de um ou outro símbolo para o raciocínio. Como dito anteriormente, Nersessian (2008, p. 99)

tem uma “[...] hipótese mais forte de que essas representações têm aspectos modais”. Assim, ao explorar as investigações sobre representações mentais corporificadas [*embodied*], Nersessian se concentra, principalmente, nas pesquisas de Lawrence Barsalou que, segundo ela,

[...] argumenta e demonstra de forma convincente que existe uma extensa literatura experimental que pode ser lida como apoio à afirmação de que as representações mentais retêm características perceptivas e que muitas funções cognitivas envolvem a reencenação ou “simulação” de estados perceptivos. Estes incluem processamento perceptivo, memória, linguagem, categorização e inferência (NERSESSIAN, 2008. p. 123).

O modo como as representações mentais retêm características perceptivas ocorre por meio de símbolos perceptivos [*perceptual symbols*] que, de acordo com a leitura que Nersessian (2008, p. 124) faz de Barsalou, “[...] são correlatos neurais de experiências sensório-motoras”. Tais símbolos surgem de duas maneiras, ou por meio de um “[...] um processo de extração que seleciona algum subconjunto de um estado perceptivo e o armazena como símbolo” (BARSALOU, PRINZ, 1997, p. 275), permitindo inúmeras possibilidades de recombinação imaginativa; ou a partir de um ato de introspecção, como um processo abstrativo. Dessa forma, a relação entre esses símbolos e aquilo que eles representam é analógica e eles

[...] formam um sistema representacional comum que está subjacente ao processamento sensório-motor e conceitual. Como o sistema conceitual faz uso de mecanismos perceptuais e motores, as representações conceituais são distribuídas por sistemas específicos de modalidade. Essas representações possuem recursos de simulação; isto é, os processos perceptivos e motores associados às experiências originais são reencenados quando os símbolos perceptivos são empregados no pensamento (NERSESSIAN, 2008, p. 124).

Vale ressaltar que essas simulações não são como as percepções originais em relação aos detalhes, isto é, não são como rodar um filme na cabeça. Ademais, “[...] ao conduzir uma simulação perceptiva, não é preciso estar conscientemente ciente nem das imagens mentais, que requerem um esforço cognitivo extra para produzir, nem do processo de simulação” (NERSESSIAN, 2008, p. 125). Nessa reencenação, Nersessian (2008, p. 125) destaca que “[...] as representações de conceitos específicos da memória de trabalho são construídas com o propósito de

apoiar a ação situada” e que isso tem uma implicação importante, a saber, a de que as representações de objetos não são livres do contexto, pelo contrário, “[...] incluem informações situacionais que são ativas no processamento conceitual” (p. 126). Entendendo dessa maneira, ela explica que

se concebermos o raciocínio baseado em modelo simulado sobre sistemas físicos como uma forma de ‘ação situada’, ele permite que o raciocínio seja totalmente imaginativo ou seja realizado em conjunto com a ação do mundo real, como olhar para o sofá e a porta ao raciocinar, desenhar um esboço ou diagrama, ou usar um dispositivo físico para simular um modelo. A modelagem mental em conjunto com recursos externos forma um sistema acoplado pelo qual são feitas inferências. Desta forma, o solucionador de problemas não simplesmente ‘usa’ representações externas; em vez disso, elas são incorporadas [*incorporated*] diretamente no processamento cognitivo (NERSESSIAN, 2008, p. 126).

Com base em todo esse arcabouço teórico das ciências cognitivas e em registros históricos, Nersessian se debruça sobre o trabalho desenvolvido pelo físico James Clerk Maxwell na tentativa de reconstruir seu raciocínio a partir do método histórico-cognitivo. Por ser um bom exemplo do que é o raciocínio baseado em modelos, apresentamos sua análise na seção a seguir.

3.3 O CASO DE JAMES CLERK MAXWELL

James Clerk Maxwell é um físico conhecido pelas famosas “equações de Maxwell” que unificaram eletricidade e magnetismo. Durante o desenvolvimento dessas equações, de acordo com Nersessian, Maxwell raciocinou por meio de modelos, utilizando analogias para construí-los, experimentos de pensamento para simulá-los e representações diagramáticas para simulá-los e comunicá-los. A interpretação de Nersessian desse processo não é a única, por isso, abordamos brevemente a perspectiva de Paulo C. C. Abrantes. Além disso, comparamos o caso de Maxwell com o de Lavoisier e Priestley, discutido no capítulo anterior desta dissertação.¹⁰

¹⁰ Ao analisar as anotações deixadas por Maxwell, podemos entender que Nersessian confiou em um relato de introspecção. Para uma discussão mais aprofundada sobre esse assunto, cf. Schwitzgebel (2019).

No capítulo 2 de *Creating Scientific Concepts* (2008), “Model-based Reasoning Practices: Historical Exemplar”, Nersessian se ocupa principalmente dos modelos criados por Maxwell em seu artigo “On Physical Lines of Force” (cf. Maxwell, 1890 [1861-62]). Esse texto foi dividido e publicado em quatro partes, das quais ela só analisa as três primeiras no capítulo mencionado.¹¹ Assim como ela, abordaremos apenas as três partes e não discutiremos todos os detalhes envolvidos no raciocínio de Maxwell nessa época, pois isso extrapolaria os limites deste trabalho. Dessa forma, discutiremos aquilo que é relevante para o alcance do nosso objetivo nesta seção: o de evidenciar como ocorre o raciocínio baseado em modelos.

Seguindo a apresentação de Nersessian, os cientistas que mais influenciaram essa parte do trabalho de Maxwell foram William Thomson, o famoso Lorde Kelvin, seu professor e amigo, e Michael Faraday. Em um artigo anterior, intitulado “On Faraday’s Lines of Force” e publicado entre 1855 e 1856, que não abordaremos diretamente aqui, Maxwell fornece uma análise cinemática da organização geométrica das linhas de força, já no artigo “On Physical Lines of Force” (1861-62) sua intenção é oferecer uma análise dinâmica da produção dessas linhas (NERSESSIAN, 2008). Em outras palavras, Maxwell queria dar conta tanto do movimento das linhas (cinemática) quanto de sua origem (dinâmica) e com isso produzir uma análise mecânica que unificasse eletricidade e magnetismo. É importante ter em mente que, diferente do modo como compreendemos esses fenômenos hoje, naquela época, o entendimento era de que “[...] corrente e cargas são consideradas o resultado de tensões no meio e não as fontes de campos” (NERSESSIAN, 2008, p. 28). De acordo com a autora, para Maxwell, o meio em questão era o éter, hipótese que encontrou base no trabalho de Thomson, no qual o cientista entende o éter como um meio elástico sob tensões. O éter é entendido como um meio contínuo e a área da física que estuda o movimento e as forças nesse tipo de meio, do qual são exemplos a água e o ar, é chamada de mecânica de meios contínuos. Em seu período em Cambridge, Maxwell e seus colegas desenvolveram técnicas matemáticas nessa área, o que evidencia uma experiência prévia com esse tópico (NERSESSIAN, 2008). Levando tudo isso em consideração, a mecânica de meios contínuos se torna um domínio fonte

¹¹ Um estudo mais minucioso pode ser encontrado em seu outro livro *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories* (NERSESSIAN, 1984).

para Maxwell. Isto é, um domínio que pode ser útil para lidar com os problemas do domínio alvo, que nesse caso é o da eletricidade e magnetismo. A ideia é que

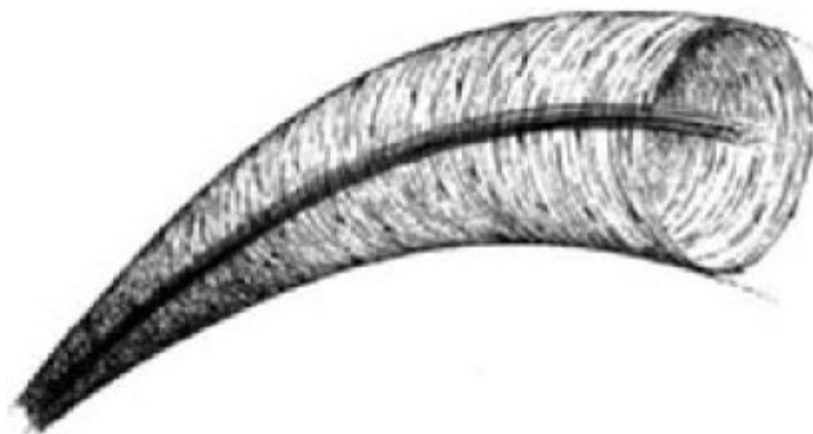
[...] pode-se supor que as causas dos fenômenos eletromagnéticos são tensões no éter e, assim, supor que há uma 'semelhança na forma' entre as relações dinâmicas que se mantêm nos domínios da mecânica dos meios contínuos, como fluidos e sólidos elásticos, e fenômenos eletromagnéticos (NERSESSIAN, 2008, p. 30)

Considerando que Maxwell iniciou seu artigo de 1861-62 investigando os fenômenos magnéticos, foram as restrições relacionadas ao magnetismo (domínio alvo) que guiaram a seleção das primeiras restrições da mecânica de meios contínuos (domínio fonte) (NERSESSIAN, 2008). Foi dessa maneira que o domínio fonte foi útil para o domínio alvo: sendo fonte de restrições. Com base no relato de Nersessian, para combinar essas restrições, a concepção do meio precisou ser refinada, de modo a evidenciar características específicas. Assim,

Maxwell determinou que um meio fluido com uma pressão hidrostática simétrica ao redor do eixo e uma pressão simples ao longo do eixo fornece um modelo mecânico consistente [...]. O excesso de pressão na direção equatorial pode ser explicado como resultado da força centrífuga dos vórtices no meio, com eixos paralelos às linhas de força (NERSESSIAN, 2008, p. 30)

Ao adicionar essa ideia de vórtices, Nersessian (2008) acredita que, embora Maxwell não tenha referenciado explicitamente o artigo de Thomson sobre a ideia de vórtices moleculares, ao nomear a primeira parte de seu artigo de "The theory of molecular vortices applied to magnetic phenomena" ele o fez implicitamente. Seguindo o relato de Maxwell, Nersessian representa um vórtice da seguinte maneira:

Figura 1 - Representação de um vórtice.



Fonte: NERSESSIAN, 2008, p. 32.

Do modo como temos interpretado, o eixo do vórtice na figura acima representa a linha de força magnética e “o movimento do vórtice fornece um mecanismo causal que é, em princípio, capaz de produzir a configuração das linhas de força e as tensões nelas e entre elas” (NERSESSIAN, 2008, p. 33). Ainda, “[...] se olharmos do polo sul (extremidade pequena) em direção ao polo norte do ímã ao longo de uma linha de força, o vórtice se move no sentido horário” (NERSESSIAN, 2008, p. 31). De acordo a autora, a combinação das restrições, que levou Maxwell à ideia de vórtices em um meio, gerou o primeiro modelo denominado por ela de modelo de fluido de vórtice [*Vortex Fluid model*].¹² Raciocinar por meio desse modelo “[...] permitiu a Maxwell recorrer às estruturas representativas matemáticas da mecânica de meios contínuos para derivar as equações para as tensões na interpretação hidrodinâmica e, em seguida, na interpretação eletromagnética” (NERSESSIAN, 2008, p. 31-32). Com isso foi possível satisfazer as restrições alvo iniciais relacionadas ao magnetismo e também capturar restrições geométricas e quantitativas que estavam implícitas.

¹² O modelo mental de Maxwell pode ser entendido como um modelo científico, se entendermos que um modelo científico é um modelo utilizado na prática científica. No entanto, tendo em mente a importância dos modelos na investigação científica, os filósofos da ciência os estudaram por meio de diferentes perspectivas, o que culminou em uma vasta literatura filosófica sobre o assunto. A partir de algumas dessas pesquisas, podemos classificá-los como objetos físicos, objetos ficcionais, objetos abstratos, estruturas teóricas de conjuntos, descrições e equações. Ainda, há modelos que podem se encaixar em mais de uma das classificações anteriores. Por conta disso, definir o que é um modelo científico é uma tarefa difícil que extrapolaria os limites deste trabalho. Para se aprofundar nessa discussão, cf. Frigg & Hartmann (2020).

Diante disso, alguém poderia dizer que Maxwell utilizou raciocínio analógico. Contudo, Nersessian (2008, p. 20) argumenta que as práticas de Maxwell mencionadas acima e as que discutirei a seguir “[...] não concordam facilmente com as explicações existentes do raciocínio analógico na filosofia ou na ciência cognitiva”. Embora existam pontos de acordo, por exemplo, com as pesquisas na ciência cognitiva, ela relata que encontrou uma diferença significativa no caso da ciência:

[...] ao contrário dos estudos experimentais nos quais as teorias cognitivas da analogia se baseiam, as soluções analógicas prontas para os problemas não são transferidas diretamente da fonte para o problema alvo. [...] [Mas] domínios analógicos servem como fontes de restrições para uso na construção de modelos híbridos (NERSESSIAN, 2008, p. 144).

Esse é o caso de Maxwell, pois de acordo com Nersessian (2008, p. 31) “o sistema de vórtices infinitesimais, no entanto, não corresponde a nenhum sistema físico conhecido e, portanto, não fornece uma analogia pronta para uso”. Dessa forma, não seria possível nem mapear nem transferir nada diretamente para o domínio alvo. Porém, como bem notado por Nersessian, a mecânica de meios contínuos não se tornou dispensável por conta disso, mas se tornou fonte de restrições. Assim, Maxwell combinou restrições do domínio fonte e do domínio alvo e com isso construiu o modelo de fluido de vórtices, um modelo híbrido intermediário.

No entanto, há uma questão interessante que podemos fazer sobre o modelo: como os vórtices começam a girar? Isso nos leva à discussão da segunda parte do artigo de Maxwell, na qual seu foco está na interação entre magnetismo e eletricidade ou, mais especificamente, entre os vórtices magnéticos e corrente elétrica. Pensando nas várias linhas de força que se formam ao redor de um ímã, uma representação diagramática mais adequada do modelo criado anteriormente é a seguinte:

Figura 2 - Representação de vários vórtices.



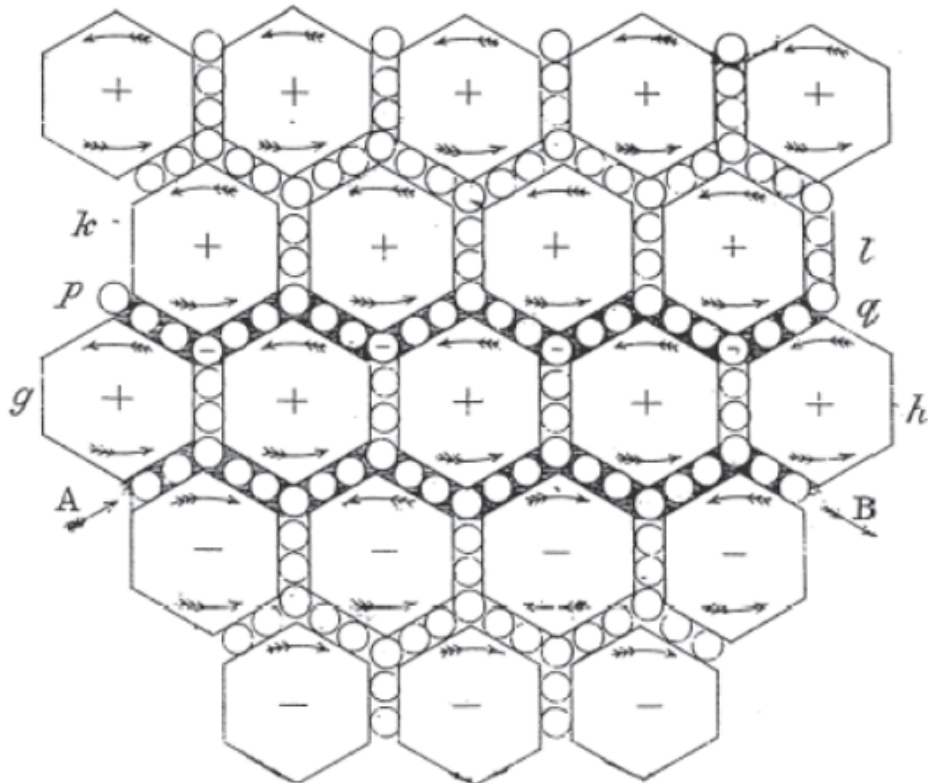
Fonte: NERSESSIAN, 2008, p. 32.

Ao imaginar os vórtices lado a lado, girando na mesma direção, Maxwell percebeu um problema. Seguindo a explicação de Nersessian (2008, p. 35), além do contato direto entre os vórtices causar atrito e com isso interferência, “[...] como todos os vórtices estão girando na mesma direção e, portanto, nos pontos de contato estão indo em direções opostas, no caso de girarem na mesma velocidade, todo o mecanismo deve eventualmente parar”. Nesse sentido, o atrito se tornou uma restrição do próprio modelo que deve ser considerada e que só foi percebida devido a simulação mental. Isso só se tornou evidente para Maxwell depois, pois para lidar com as restrições do magnetismo foi necessário um único vórtice. Dessa forma, para continuar ele precisou adaptar o modelo.

Dos recursos mencionados por Nersessian (2008) que contribuíram para o desenvolvimento da investigação de Maxwell, estão as máquinas que permearam a cultura vitoriana, como a máquina a vapor e a máquina analítica de Charles Babbage. Tendo isso em mente, faz sentido que Maxwell tenha encontrado no âmbito das máquinas o seu próximo domínio fonte. Ele precisava de algo que ficasse entre os vórtices para evitar o atrito e permitir o movimento e de acordo com a autora “ele observou que, no projeto de máquinas que exigem que as peças rotativas se movam suavemente umas sobre as outras, esse tipo de problema é resolvido pela introdução de ‘rodas ociosas’” (NERSESSIAN, 2008, p. 36). A ideia dele era a de imaginar uma camada de partículas entre os vórtices se comportando como essas peças. O problema é que essas rodas ociosas geralmente têm movimento rotacional (giram em

torno de si mesmas) e para representar a corrente elétrica Maxwell precisava que elas tivessem movimento translacional (que se movessem do lugar) (NERSESSIAN, 2008). Ao dar-se conta de que a mecânica de máquinas trabalhava com esse tipo de roda ociosa, Maxwell encontrou o seu próximo domínio fonte, que deu origem ao segundo modelo: o modelo vórtice-roda ociosa [*Vortex-Idle Wheel model*] (Figura 3).

Figura 3 - Modelo vórtice-roda ociosa.



Fonte: NERSESSIAN, 2008, p. 41.

O modelo vórtice-roda ociosa foi representado diagramaticamente por Maxwell (Figura 3) juntamente com um texto que, segundo Nersessian, serve para guiar o leitor em uma animação correta do modelo para o fenômeno de corrente induzida. Nas palavras de Maxwell:

Deixe a corrente da esquerda para a direita começar em AB. A fileira de vórtices gh acima de AB será colocada em movimento na direção oposta a um relógio.... Vamos supor que a fileira de vórtices kl ainda está em repouso, então a camada de partículas entre essas fileiras sofrerá a ação da fileira gh em seus lados inferiores e estará em repouso acima. Se elas estiverem livres para se mover, elas girarão na direção negativa e, ao mesmo tempo, se moverão da direita para a esquerda, ou na direção oposta da corrente, e assim formarão uma corrente elétrica induzida (MAXWELL, 1890 [1861-62], vol. 1, p. 477).

De acordo com Nersessian, também é possível

[...] ver como a relação causal entre uma corrente constante e linhas de força magnéticas é capturada da seguinte maneira. Um fluxo contínuo de partículas é necessário para manter a configuração das linhas de força magnética em torno de uma corrente. Quando uma força eletromotriz, como a de uma bateria, atua sobre as partículas em um condutor, ela as empurra e as faz rolar. A pressão tangencial entre eles e os vórtices coloca os vórtices vizinhos em movimento em direções opostas em lados opostos – capturando assim a polaridade do magnetismo (T5) – e esse movimento é transmitido por todo o meio (NERSESSIAN, 2008, p. 40-41).

Assim, segundo a autora, sabendo que os materiais oferecem resistência à passagem de corrente elétrica, gerando perda de energia e troca de calor com o ambiente, no modelo de Maxwell os vórtices magnéticos apresentam diferentes velocidades, fazendo com que as partículas entre eles apresentem movimento translacional e sofram resistência, conseqüentemente gerando perda de energia e troca de calor. Contudo, para dar conta do fato de que linhas de força podem existir por tempo indeterminado, isto é, não envolvem perda de energia, Maxwell constrói seu modelo entendendo também que nesse tipo de situação as partículas têm movimento rotacional e não translacional (NERSESSIAN, 2008). Assim como na primeira parte de seu artigo, nessa etapa Maxwell pôde satisfazer também várias restrições quantitativas raciocinando a partir do modelo. No entanto, Nersessian explica que uma das considerações de Maxwell para fins de cálculos gerou uma restrição do modelo que entrou em conflito com uma restrição geométrica apresentada na primeira parte do artigo. Na parte dois, os vórtices foram compreendidos como pseudo esferas rígidas, ao contrário da parte um, onde eles eram entendidos como elásticos, algo que virá a ser resolvido no terceiro e último modelo analisado por Nersessian.

Por mais bem sucedido que o modelo tenha sido até então, ainda faltava mostrar que a transmissão de forças eletromagnéticas ocorria a partir da ação contínua em um meio e tratar da eletricidade estática no modelo (NERSESSIAN, 2008). Para isso, o modelo vórtice-roda ociosa precisou ser adaptado novamente, fazendo surgir um novo modelo, porém, dessa vez não foi preciso fazer uso de um novo domínio fonte. Na perspectiva de Nersessian (2008, p. 43), “[o fato de] que a Parte III do artigo foi publicada oito meses depois das Partes I e II indica que Maxwell

não viu como fazer a modificação no momento inicial da publicação das duas primeiras partes”.

O conflito entre restrições, mencionado acima, é resolvido quando Maxwell atenta a uma restrição do modelo como um sistema mecânico e o adapta conferindo elasticidade aos vórtices, o que abre caminho para tratar a eletricidade estática no modelo (NERSESSIAN, 2008). Maxwell enxerga em um caso de indução eletrostática, no qual uma molécula de um material isolante tem sua carga reorganizada devido à presença de um campo elétrico, uma forma de eletricidade deslocada, por conta da reorganização das cargas no interior das moléculas não gerar um movimento dessas moléculas, ou seja, para ele isso é como o início de uma corrente. Assim, tendo em mente a figura 3, podemos entender que durante esse fenômeno há “[...] uma leve distorção elástica nos vórtices, causando um leve movimento de translação nas partículas da roda ociosa, que é propagado por todo o meio. Esse movimento é o que ficou conhecido como ‘corrente de deslocamento’” (NERSESSIAN, 2008, 45). No caso de um isolante, as partículas também têm movimento rotacional e por conta disso, ao serem colocadas em um leve movimento translacional por uma força eletrostática, reagirão de modo a restaurar a sua posição anterior. É por conta disso, de acordo com a autora, que há um sinal de menos em uma das equações de Maxwell, isto é,

A diferença de sinal pode, portanto, ser explicada reconhecendo que uma força elástica restauradora *para o modelo* é oposta em orientação à força impressa e, portanto, as duas grandezas *devem* ter sinais opostos. Sem o modelo, não há uma maneira clara de contabilizar a diferença de sinal (NERSESSIAN, 2008, p. 46).

Isso faz com que seja razoável assumir que o raciocínio de Maxwell está sendo realizado por meio do modelo, uma vez que certas características de suas equações ganham sentido a partir dessa perspectiva, diferente de outras que apenas consideram o sinal como um erro. Após a ação dessa força elástica restauradora, o nível de tensão no meio se mantém constante e a carga elétrica

[...] pode ser representada como o excesso de tensão no meio dielétrico criado pelo acúmulo de partículas de roda ociosas deslocadas. Isso é consistente com a concepção de campo de Faraday e Maxwell como dando origem a cargas (e correntes), ao contrário da compreensão contemporânea de campos como decorrentes de cargas (e correntes) (NERSESSIAN, 2008, p. 46).

Uma entre tantas consequências desse processo de investigação foi a modificação da lei de Ampère por Maxwell, de modo com que “[...] a corrente é representada pelo movimento de translação das partículas menos o efeito da força restauradora” (NERSESSIAN, 2008, p. 47) e, segundo a autora, essa equação modificada pode ser combinada com a forma diferencial da lei de Coulomb. A partir disso, ela explica que Maxwell estava em condições de calcular a velocidade de propagação no modelo e como se sabe dentro da comunidade científica, ele encontrou um resultado para a propagação de ondas eletromagnéticas no modelo muito semelhante ao encontrado para a velocidade da luz. Há um comentário de Maxwell sobre isso que Nersessian considera significativa e que é interessante discutir aqui. Ele diz o seguinte: “difícilmente podemos evitar a inferência de *que a luz consiste nas ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos*” (MAXWELL, 1890 [1861-62], p. 500). Para Nersessian, esse comentário reforça a sua interpretação de que ele está raciocinando por meio do modelo especificamente, o que discutiremos com mais detalhes adiante. Com esse comentário, ele

[...] não estava evitando a inferência de que a luz é um fenômeno eletromagnético aqui (o que claramente suspeitou desde o início); ele estava evitando uma inferência sobre a possível identidade dos dois meios de transmissão, o éter de luz e o éter eletromagnético (NERSESSIAN, 2008, p. 47).

O que é interessante de discutir aqui é que o professor Paulo C. C. Abrantes (1988) possui uma interpretação oposta do mesmo trecho; em suas palavras: “[...] Maxwell não afirma ser a luz uma onda eletromagnética – o que de fato não foi provado – mas somente que os dois meios na verdade constituem um único meio” (ABRANTES, 1988, p. 68). Ele analisou o trabalho de Maxwell correspondente a um período de quase 20 anos. Com base nisso, identificou três métodos na construção da representação matemática para o eletromagnetismo sobre a qual estamos discutindo, “[...] o de analogia física, o hipotético-dedutivo, e o analítico. Eles são empregados consecutivamente nos três primeiros trabalhos de Maxwell no domínio do eletromagnetismo” (ABRANTES, 1988, p. 59). Os trabalhos a que Abrantes se refere são: “On Faraday’s lines of force”, publicado em 1855; “On physical lines of force”, o texto de 1861-62, que temos discutido a partir de Nersessian; e “A dynamical theory of the electromagnetic field”, publicado em 1864. Ele explica que essa

construção se dá com base em dois pressupostos ontológicos: por um lado, o de que a ação eletromagnética a distância se transmite contígua e mediatizadamente e não a distância; e, por outro lado, o ideal de explicação mecânica. De acordo com Abrantes, o método da analogia aparece no primeiro artigo, quando Maxwell estabelece uma analogia entre o eletromagnetismo e a hidrodinâmica. Seguindo sua interpretação, “[...] a busca de analogias corresponde a uma necessidade de dar ‘concretude’ ao formalismo matemático” (ABRANTES, 1988, p. 61), intenção essa que ele considera semelhante à do físico William Thomson. De fato, Nersessian (2008) menciona que Maxwell reconhece a influência de Thomson no que diz respeito ao uso do então chamado “método de analogia física”, porém ela também destaca que o próprio Maxwell, em correspondência com Thomson, admite que o aplicou de uma maneira diferente. Segundo ela, “a diferença é que Maxwell usou o que pode ser considerado domínios de fontes analógicas não para fornecer mapeamentos diretos entre fenômenos, mas como fontes para restrições” (NERSESSIAN, 2008, p. 28).

Diante disso, podemos perceber que a perspectiva de Nersessian e Abrantes sobre o trabalho de Maxwell é claramente diferente, o que pode explicar, em partes, a discordância a respeito do que Maxwell queria dizer no trecho anteriormente mencionado. Como dito anteriormente, para Nersessian, esse trecho de Maxwell é como um reforço para a sua interpretação de que

o valor da velocidade transversal no meio eletromagnético foi determinado *diretamente e apenas* a partir de suposições específicas do Modelo 3, e não havia fundamentos físicos independentes para supor o movimento de vórtice no éter de luz (NERSESSIAN, 2008, p. 48).

Seguindo a interpretação da autora, a cautela de Maxwell em não identificar os dois meios, mais especificamente o éter eletromagnético e o éter luminífero, advém do modo como ele compreende o que está fazendo, ou seja, a sua própria prática. Para entendermos isso, a palavra-chave é mecanismo. De acordo com Nersessian, ao perceber semelhanças entre as relações dinâmicas nos domínios da mecânica de meios contínuos, da mecânica de máquinas e da eletricidade e magnetismo, Maxwell construiu nos modelos mecanismos causais específicos. Deles, ele abstraiu estruturas relacionais abstratas que correspondem às estruturas relacionais reais. Assim, os mecanismos construídos geram os mesmos resultados que os mecanismos reais, mas isso não significa que eles sejam os mesmos. Dessa forma, o mecanismo

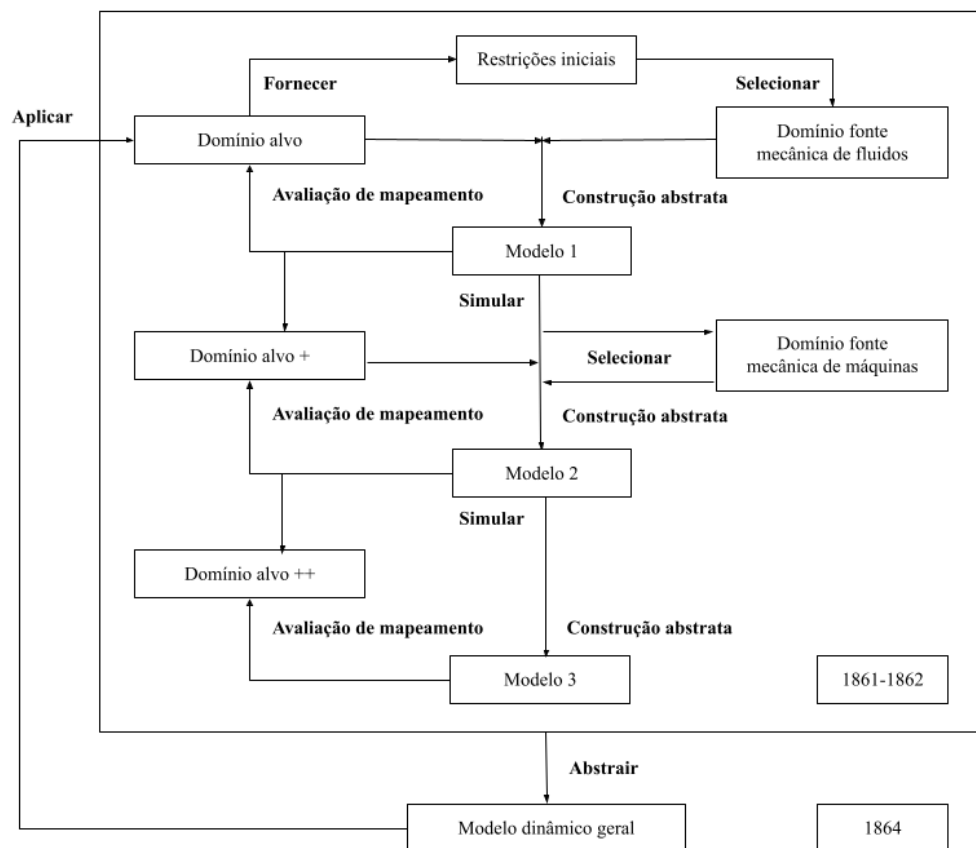
envolvido no modelo vórtice-roda ociosa é compreendido como representando uma estrutura causal de uma classe de sistemas dinâmicos e não como o mecanismo real que cria os fenômenos eletromagnéticos (NERSESSIAN, 2008). Em outras palavras, o modelo não representa uma causa específica, mas apenas uma estrutura causal. Até porque, segundo a autora, ao construir um modelo para resolver um problema o foco se dá seletivamente em peças relevantes, de modo que “[...] os modelos funcionam bem o suficiente para fins de raciocínio, mesmo que o que é representado possa não ser totalmente viável como entidades, processos ou situações do mundo real” (NERSESSIAN, 2008, p. 136). Esse é exatamente o caso em questão, uma vez que

na realidade, o mecanismo de roda ociosa é um modo de conexão altamente implausível para um sistema mecânico de fluidos [...] mesmo assim, as estruturas relacionais entre as forças que produzem tensões no modelo correspondem às estruturas relacionais entre as forças entre a corrente elétrica e o magnetismo (NERSESSIAN, 2008, p. 39).

Diante dessa perspectiva, é razoável que Maxwell tenha tentado evitar a inferência de que o meio em que as ondas eletromagnéticas se propagam é o mesmo que aquele em que a luz se propaga. O motivo é que todo o processo de investigação foi realizado tendo como guia as restrições do domínio da eletricidade e magnetismo, de maneira que o mecanismo foi construído para dar conta dos fenômenos desse campo e não de outro. Tecnicamente falando, Nersessian (2008, p. 37) explica que “Maxwell não está fazendo uso de nenhum mecanismo existente; em vez disso, ele está trabalhando com uma classe de mecanismos de um tipo específico”. Assim, “na visão então predominante, a luz é uma onda transversal em um meio elástico e não poderia ser propagada pela mesma espécie de mecanismo fornecido pelo modelo de propagação de ações eletromagnéticas” (NERSESSIAN, 2008, p. 48).

Diante disso, Nersessian identifica as seguintes categorias gerais de raciocínio no processo de modelagem de Maxwell: abstrativo, simulativo, adaptativo e avaliativo. Para elucidar isso, ela elaborou uma figura na qual cada uma dessas categorias é representada:

Figura 4 - Processo de modelagem de Maxwell.



Fonte: NERSESSIAN, 2008, p. 57. Deve-se iniciar a leitura da figura pelo topo e seguir as setas até a base. Deste modo, inicie pelo retângulo “Domínio alvo” e continue seguindo a seta que leva ao retângulo “Restrições iniciais”, pois é o domínio alvo, aquele no qual se encontra o problema que deve ser resolvido, que fornece as restrições iniciais. A partir disso, é possível selecionar restrições de um domínio fonte, que nesse caso é o da mecânica de fluidos, por isso siga a seta até o retângulo “Domínio fonte mecânica de fluidos”. O encontro das setas entre os retângulos “Domínio alvo” e “Domínio fonte mecânica de fluidos” representa a combinação de restrições que irá levar a construção do modelo 1, assim, siga a seta que leva ao retângulo “Modelo 1”, uma construção abstrata. Após a simulação do modelo, para a análise de seu funcionamento, é avaliado o seu mapeamento, isto é, se o modelo resolve o problema existente no domínio alvo. Dessa forma, siga a seta que leva novamente ao retângulo “Domínio alvo”. Em caso de fracasso na resolução do problema, é possível que se aprenda algo novo sobre o domínio alvo, por isso siga a seta que leva ao retângulo “Domínio alvo +”. Os próximos passos para a leitura da figura seguem a mesma lógica. Na base da figura, o retângulo “Modelo dinâmico geral” representa o modelo final que foi abstraído de todo o processo anterior e aplicado ao problema existente no domínio alvo, por isso siga a seta novamente até o retângulo “Domínio alvo”. As datas indicam os anos em que essas etapas foram realizadas. A figura, de modo geral, pretende reconstruir o raciocínio de Maxwell nessa época.

Quando Maxwell abstrai as estruturas relacionais do modelo, ele está utilizando o que Nersessian chama de abstração por meio de modelagem genérica, um tipo de raciocínio abstrativo. Já em momentos em que, por exemplo, Maxwell percebeu o problema de ter vórtices lado a lado girando na mesma direção e velocidade, de acordo com ela, ele está manipulando o modelo por meio de animação mental, que é o que ela define como raciocínio simulativo. A existência de mais de um

modelo por conta de novas restrições evidencia o raciocínio adaptativo de Maxwell, o qual também alcançou o domínio alvo, destaca a autora, que a cada nova adaptação possibilitou uma maior compreensão do domínio. E, claro, para que o raciocínio adaptativo entrasse em cena, em primeiro lugar, o raciocínio avaliativo precisou surgir. Ao avaliar, Maxwell partiu de “[...] considerações sobre se as características selecionadas dos modelos eram do mesmo tipo [*same kind*] em relação às dimensões salientes dos fenômenos-alvo” (NERSESSIAN, 2008, p. 56). Dessa maneira, tendo em mente a apresentação feita nessa seção, ao observar a figura 4, podemos acessar um resumo do possível caminho mental trilhado por Maxwell para criar a representação matemática de um campo de forças.

Como mencionado no início desta seção, o objetivo de Maxwell era desenvolver uma análise mecânica que unificasse eletricidade e magnetismo. Para isso, vimos que ele combinou restrições da mecânica de meios contínuos, campo entendido como um sistema Newtoniano. Isso posto, é importante sublinhar que naquela época

[...] a dinâmica geral e a mecânica newtoniana eram consideradas coextensivas. O que sabemos hoje que Maxwell não sabia é que muitos tipos diferentes de sistemas dinâmicos podem ser formulados na matemática da dinâmica geral, incluindo a relatividade e a mecânica quântica (NERSESSIAN, 2008, p. 54).

Assim, embora Maxwell acreditasse estar derivando equações de um sistema dinâmico Newtoniano, na verdade, suas equações eram incompatíveis com esse tipo de sistema: segundo Nersessian (2008, p. 54) “os sistemas eletrodinâmicos não são o mesmo tipo de sistema dinâmico que os sistemas newtonianos”, eles são, portanto, não-Newtonianos. Então, a pergunta é: “como é possível que, fazendo analogias com domínios mecânicos newtonianos, ele tenha construído as leis de um sistema dinâmico não newtoniano?” (NERSESSIAN, 2008, p. 60). A resposta para esta pergunta está no fato de que as categorias de raciocínio que atuaram durante a construção dos modelos híbridos intermediários “[...] [permitiram] integrar restrições seletivas dos diferentes domínios porque foram consideradas em um nível de generalidade que eliminou as diferenças específicas de domínio” (NERSESSIAN, 2008, p. 60). Importante destacar aqui que se Maxwell tivesse raciocinado apenas com as ferramentas da lógica, ele não poderia ter feito isso. As premissas seriam

todas derivadas da mecânica newtoniana e a conclusão não poderia contradizê-las.¹³ Pela forma como Maxwell conduziu sua investigação, sua solução do problema é considerada pela autora como de significância histórica e classificada por ela como uma ideia *H-creative*, classificação que provém da distinção feita por Margaret Boden em 1990 na qual

[...] ideias “P-criativas” [são aquelas] que surgem de episódios em que um indivíduo cria algo que já está culturalmente disponível, mas novo para o indivíduo em questão, e ideias “H-criativas” [são aquelas] que surgem de episódios em que algo fundamentalmente novo na história humana é criado (NERSESSIAN, 2008, p. 15).

Assim, de forma semelhante ao caso de Lavoisier e Priestley, que vimos no capítulo anterior, Maxwell também viu algo que outros físicos não conseguiram ver. Segundo Nersessian (2008, p. 21), “físicos continentais trabalhando ao mesmo tempo em eletromagnetismo, como André Ampère, empregaram práticas bastante diferentes e extraíram pressupostos teóricos e estruturas de representação matemática e física fundamentalmente diferentes”. Segundo ela, as diferentes vivências, como onde e com quem viveram, estudaram e pesquisaram, é que “[...] explicam por que esses físicos falharam em derivar as equações de campo” (NERSESSIAN, 2008, p. 21), assim como são o que explicam por que Maxwell conseguiu. A autora lista alguns recursos que contribuíram para Maxwell construir as equações de campo eletromagnético. Dentre eles estão a abordagem geométrica da matemática e técnicas macroscópicas de análise matemática para fenômenos mecânicos contínuos. Todo o trabalho de Faraday, desde de suas pesquisas experimentais, até as práticas de modelagem e interpretações teóricas, assim como as pesquisas de Thomson sobre as linhas de força eletrostáticas, sobre os vórtices em um meio, sobre a teoria dinâmica do calor, sobre a distribuição de forças elétricas e magnéticas e o método geral de analogia. O desenvolvimento do conceito de energia e sua conservação e das teorias eletromagnéticas de Ampère e Wilhelm Weber. E até mesmo as máquinas da cultura vitoriana (NERSESSIAN, 2008).

Todos esses recursos influenciaram de algum modo a abordagem de Maxwell. Alguns deles se destacaram mais do que outros com vimos acima. É o caso por

¹³ Não estamos afirmando que existe uma lógica da descoberta, mas apenas enfatizando que o raciocínio baseado em modelos permite resultados que o raciocínio lógico não permitiria.

exemplo da mecânica de meios contínuos, dos vórtices e da hipótese de Thomson sobre o éter, que tiveram um papel central na construção do primeiro modelo, modelo de fluido de vórtice. Já para lidar com a restrição que surgiu do próprio modelo, o atrito entre os vórtices, o conhecimento de Maxwell sobre as máquinas da cultura vitoriana, como a máquina a vapor e a máquina analítica de Charles Babbage, foi fundamental para a construção do segundo modelo, o modelo vórtice-roda ociosa. Embora o modelo vórtice-roda ociosa tenha sido adaptado mais uma vez, não foi necessário um novo domínio fonte. Contudo, isso não significa que os recursos deixaram de influenciar o trabalho de Maxwell, apesar de nem sempre estarem explícitos, eles estabeleceram um pano de fundo a partir do qual ele compreendia o mundo. Para Nersessian (2008, p. 21), “[...] seria um erro interpretar as práticas de modelagem como ocorrendo isoladamente — divorciadas de um contexto social, cultural, material e cognitivo que constitui a situação-problema de Maxwell”.

Maxwell oscilou “[...] entre a adesão à visão mecanicista e o rompimento com ela — algo que não nos deveria causar espanto, visto tratar-se de um personagem de transição, que é ele mesmo o protagonista de uma revolução científica” (BEZERRA, 2006, p. 209). Sobre isso, Kuhn reconhece que “[...] a teoria de Maxwell, apesar de sua origem newtoniana, acabou produzindo uma crise no paradigma do qual emergira” (KUHN, 2017 [1970], p. 155). Contudo, ele considera que ela gerou uma mudança de paradigma mais limitada. Apesar disso, “as equações de Maxwell, que afetaram um grupo profissional bem mais reduzido do que as de Einstein, foram consideradas tão revolucionárias como estas [...]” (KUHN, 2017 [1970], p. 66). Podemos concluir a partir disso que as ideias de Maxwell geraram uma revolução científica e conseqüentemente um progresso. No entanto, como mencionado no capítulo 2, é mais difícil de perceber esse tipo de progresso por meio de revoluções. De acordo com Kuhn, as revoluções são quase totalmente invisíveis por conta de um disfarce sistemático realizado pelos manuais científicos, textos de divulgação científica e obras filosóficas. Ainda que existam diferenças entre esses materiais, eles possuem algo em comum: “[...] registram o resultado estável das revoluções passadas e desse modo põe em evidência as bases da tradição corrente da ciência normal” (KUHN, 2017 [1970], p. 232). Seguindo Kuhn, como resultado, o desenvolvimento científico como um todo parece ser realizado por cientistas individuais, de forma linear e cumulativa, que já sabiam o que procurar desde o início de seus trabalhos. E como vimos, ao olhar para a história da ciência com atenção, não é isso que encontramos. Em momentos de

crise e revolução científica, como os que focalizamos neste texto, encontramos cientistas conscientes de seus problemas, mas sem um objetivo definido, apoiando seu raciocínio no que quer que lhes pareça firme para desenvolver passos incertos em direção a uma possível descoberta.

3.4 PRÁTICAS DE RACIOCÍNIO BASEADO EM MODELOS

Como vimos na seção anterior, ao explorar diferentes domínios, Maxwell fez uso de diferentes práticas, por exemplo, utilizou domínios analógicos como fontes de restrições, desenvolveu representações diagramáticas e manipulou os modelos que criou por meio de animação mental. Em resumo, ele fez uso de analogias (de um modo diferente do usual), representações imagéticas e experimentos de pensamento. De acordo com Nersessian (2008), essas são as práticas de raciocínio baseado em modelos, ou mais especificamente, modos de representação e raciocínio.

Segundo ela, o que essas práticas têm em comum é o fato de que envolvem maneiras de mudar representações. Em suas palavras, “fazer uma analogia, por exemplo, pode envolver mudanças que permitam entender uma representação em termos de outra” (NERSESSIAN, 2008, p. 131). No caso do primeiro modelo de Maxwell, a analogia entre magnetismo e a mecânica de meios contínuos deu a ele a possibilidade de mudar a representação de força magnética, como era entendida na época, para vórtices, permitindo assim que ele acessasse os recursos de interesse daquele domínio e entendesse melhor o magnetismo.

As representações imagéticas, por sua vez, permitem mais de um tipo de mudança nas representações, de acordo com a autora. É possível dizer que elas envolvem mudança de formato em dois sentidos distintos. O primeiro é aquele que já discuti anteriormente neste capítulo: as representações possuem dois formatos, proposicionais e icônicos. Em relação a esse primeiro sentido, a ideia é que a representação imagética possibilita a mudança do formato proposicional para o formato icônico. O segundo sentido envolveria mudar de um formato que podemos chamar de *imaginário* para um formato que podemos considerar *concreto*.¹⁴ Isto é, a ideia aqui é que a representação imagética possibilita também que, por meio de

¹⁴ É importante destacar que Nersessian (2008) não fala em formato imaginário e formato concreto. Introduzimos aqui esta distinção com um propósito didático de esclarecer os tipos de mudanças possíveis a partir de representações imagéticas.

diagramas e gestos, sejam criadas representações externas daquilo que eram apenas representações internas (NERSESSIAN, 2008). Pensando no caso de Maxwell, a figura 3 (Modelo vórtice-roda ociosa) pode ser entendida como o resultado da mudança possibilitada pela representação imagética, de trazer algo interno para o externo por meio de um diagrama.

Por último, o modo como experimentos de pensamento, que são uma forma de simulação mental, permitem mudanças em representações é imaginando os seus estados futuros. A autora explica que experimentos de pensamento “[...] podem consistir simplesmente em raciocínio experimental ‘como se’, como fazer a pergunta ‘O que aconteceria se...?’ e fazendo as alterações correspondentes na representação” (NERSESSIAN, 2008, p. 132). Um bom exemplo do tipo de mudança permitida por experimentos de pensamento é quando Maxwell manipula o modelo por meio de animação mental e percebe que se os vórtices girarem lado a lado, na mesma direção e velocidade, todo o mecanismo vai parar. Foi por causa desse experimento de pensamento que ele adaptou o modelo introduzindo as rodas ociosas.

Pensar em como os modelos mentais são criados, manipulados, avaliados e adaptados em processos de solução de problemas nos leva a essas práticas, pois elas estão interligadas com aquilo que a autora chama de metáfora do método *bootstrapping* (NERSESSIAN, 2008). Como ela mesmo considera, uma boa representação esquemática do *bootstrapping* é a representação diagramática de Maxwell (Figura 4), contudo, de forma mais específica,

[...] cada domínio fornece restrições que podem ser vistas como uma das faixas, os modelos híbridos intermediários são cruzamentos de faixas e cada cruzamento suporta ou contribui para a construção de modelos adicionais e melhor compreensão do alvo (NERSESSIAN, 2008, p. 133)

Dessa maneira, o *bootstrapping* é uma forma de entender o raciocínio baseado em modelos. Algo interessante a se destacar é que Nersessian defende que as analogias, as representações imagéticas e os experimentos de pensamento não são uma exclusividade do raciocínio científico, mas são também utilizadas no raciocínio cotidiano. A questão é que, a partir dessa perspectiva, ela acredita que assim como podemos derivar considerações do raciocínio cotidiano para o raciocínio científico, também podemos fazer o oposto. Ou seja, estudar a prática científica pode ajudar a iluminar a prática cotidiana (NERSESSIAN, 2008). Nesse sentido, ao fazer

essa analogia, entre raciocínio cotidiano e raciocínio científico, pensando nos termos dela, conforme avançamos ao tentar resolver um problema, entenderemos melhor o domínio alvo, seja ele o raciocínio cotidiano ou o científico. Assim, o seu próprio trabalho, a partir do método histórico-cognitivo pode ser entendido como um *bootstrapping*. Em suas palavras,

O método histórico-cognitivo é o tipo de procedimento de *bootstrapping* comumente usado na ciência [...] A ciência cognitiva é um campo em desenvolvimento, e as interpretações e teorias cognitivas estão amplamente desinformadas pelas práticas cognitivas dos cientistas. Tal como acontece com o desenvolvimento cognitivo em crianças, o domínio da ciência oferece uma oportunidade para estudar os processos cognitivos que envolvem grandes mudanças na representação e na compreensão. Ele fornece exemplos ricos de raciocínio em situações autênticas de resolução de problemas. Mais especialmente, fornece dados significativos sobre o pensamento metacognitivo, como evidenciado na articulação muitas vezes explícita e refinamento reflexivo de métodos, estratégias de raciocínio e questões representacionais por cientistas. O método histórico-cognitivo é, portanto, reflexivo: os estudos da cognição científica retroalimentam o campo da ciência cognitiva, para formar a base de pesquisas cognitivas posteriores (NERSESSIAN, 2008, p. 6-7)

Tendo tudo isso em mente, nas próximas seções seguiremos Nersessian (2008) para apresentar algumas relações que podem ser estabelecidas entre a bibliografia tradicional na psicologia e nas ciências cognitivas e a sua pesquisa, sobre as práticas de raciocínio baseado em modelos.

3.4.1 Analogia

Nersessian (2008) faz duas afirmações que merecem destaque. A primeira é a de que Maxwell utilizou analogias de uma maneira diferente; a segunda é a de que interpretações e teorias cognitivas estão desinformadas no que diz respeito às práticas cognitivas dos cientistas. Isto posto, nesta seção pretendemos apresentar o que se entende por analogia de acordo com o relato dela da visão tradicional da psicologia e das ciências cognitivas e como a sua pesquisa se relaciona com essas ideias.

De forma resumida, fazer uma analogia é usar o que se tem para compreender algo novo. Um exemplo do mundo do cinema: no filme “A chegada” (VILLENEUVE, 2016), a linguista Louise Banks tenta compreender como os extraterrestres se

comunicam a partir do que ela já sabe sobre como nós, seres terrestres, nos comunicamos. Esse exemplo pode ilustrar a razão pela qual essa habilidade parece nos ser cara, algo novo, e até inesperado, pode ser entendido por meio dela. De modo mais específico, “na literatura psicológica, a analogia é estudada como o principal meio pelo qual as pessoas usam o que sabem e entendem para fazer inferências sobre novos fenômenos, experiências ou situações” (NERSESSIAN, 2008, p. 143-144). De acordo com a autora, por mais que essa habilidade cognitiva esteja enraizada em uma capacidade biológica compartilhada pela maioria dos vertebrados, além de seres humanos, só chimpanzés treinados mostraram conseguir realizá-la. Além disso, se engana quem pensa que essa é uma habilidade desenvolvida na vida adulta de um ser humano ou com muito treinamento de nossa parte. Ao contrário, segundo pesquisas na área de desenvolvimento cognitivo, começamos a fazer analogias desde bebês e, assim, uma “[...] criança de cinco anos normalmente exibe a capacidade de reconhecer que os relacionamentos em uma situação conhecida (fonte) podem ser usados para criar candidatas a inferências sobre uma desconhecida (alvo)” (NERSESSIAN, 2008, p. 144). Tradicionalmente se entende o processo de fazer uma analogia como sendo composto por etapas, tais como recuperação, mapeamento e transferência. Nos parágrafos que se seguem discutiremos um pouco sobre cada uma delas.

A etapa da recuperação pode ser entendida, de modo simplificado, como aquele momento em que você se lembra de algo semelhante com o qual está lidando no momento e percebe que pode utilizar isso. Tomando como exemplo novamente o filme “A chegada”, no seu segundo encontro com os extraterrestres, Banks precisa se comunicar com eles e não sabe como. Então, resolve levar um pequeno quadro branco, semelhante àqueles que temos em escolas, e um canetão. Quando questionada pelo general no comando da operação sobre a razão de levar os itens, Louise explica que como não sabe a língua deles e que não sabe se eles ao menos falam, ela vai utilizar o quadro como auxílio visual, pois talvez eles tenham alguma língua escrita que sirva como base para uma comunicação visual. Nessa situação, a pesquisadora se lembrou de situações em que a língua escrita serviu como base para comunicação visual e percebeu que poderia utilizar isso, isto é, ela recuperou. No entanto, é importante destacar aqui que Banks é uma especialista e isso faz diferença de acordo com a bibliografia das ciências cognitivas: “[...] os especialistas tendem a se concentrar em informações relacionais abstratas na resolução de problemas,

enquanto os novatos tendem a se concentrar em semelhanças superficiais” (NERSESSIAN, 2008, p. 145). Essa dificuldade de iniciantes pode ser percebida por meio das pesquisas experimentais que envolvem o exemplo paradigmático fortaleza-tumor [*fortress-tumor*] de Mary Gick e Keith Holyoak, que é discutido por Nersessian.¹⁵ Abaixo a história da fortaleza e o problema do tumor, conforme a apresentação de Nersessian (2008, p. 146):

História da fortaleza: Um pequeno país caiu sob o domínio de ferro de um ditador. O ditador governou o país a partir de uma fortaleza robusta. A fortaleza situava-se no meio do país, rodeada de fazendas e aldeias. Muitas estradas irradiavam da fortaleza como raios de uma roda. Surgiu um grande general que mobilizou um grande exército na fronteira e prometeu capturar a fortaleza e libertar o país do ditador. O general sabia que se todo o seu exército pudesse atacar a fortaleza de uma vez, ela poderia ser capturada. Suas tropas estavam posicionadas à frente de uma das estradas que levavam à fortaleza. O ditador implacável havia plantado minas em cada uma das estradas. As minas foram montadas para que pequenos blocos de homens pudessem passar por elas com segurança, já que o ditador precisava ser capaz de mover tropas e trabalhadores de e para a fortaleza. No entanto, qualquer grande força detonaria as minas. Isso não apenas explodiria a estrada e a tornaria intransitável, mas o ditador destruiria muitas aldeias em retaliação. Portanto, um ataque direto em grande escala à fortaleza parecia impossível. O general, no entanto, não se intimidou. Ele dividiu seu exército em pequenos grupos e despachou cada grupo para o início de uma estrada diferente. Quando tudo estava pronto, ele deu o sinal, e cada grupo partiu por uma estrada diferente. Todos os pequenos grupos passaram com segurança sobre as minas, e o exército então atacou a fortaleza com força total. Desta forma, o general conseguiu capturar a fortaleza e derrubar o ditador.

Problema do tumor: Suponha que você seja um médico com um paciente que teve um tumor maligno no estômago. É impossível operar o paciente, mas, a menos que o tumor seja destruído, o paciente morrerá. Existe um tipo de raio que pode ser usado para destruir o tumor. Se os raios atingirem o tumor de uma só vez com intensidade suficientemente alta, o tumor será destruído. Infelizmente, nessa intensidade os tecidos saudáveis pelos quais os raios passam a caminho do tumor também serão destruídos. Em intensidades mais baixas, os raios são inofensivos ao tecido saudável, mas também não afetam o tumor. Que tipo de procedimento pode ser usado para destruir o tumor com os raios e ao mesmo tempo evitar a destruição do tecido saudável?

¹⁵ Alguns autores não são citados diretamente nesta seção, contudo, uma discussão mais aprofundada sobre suas propostas e experimentos pode ser encontrada em Nersessian (2008). Este é o caso de Gick e Holyoak aqui e, mais abaixo, de Gentner, Holyoak e Paul Thagard, Michael Beveridge e Eric Parkins e outros.

Segundo a autora, na realização desse tipo de pesquisa, os participantes, que são comumente graduandos em aulas introdutórias, são informados que estão participando de uma espécie de estudo de compreensão e recebem uma história para ler e algumas outras como distrações. Em seguida, recebem um problema para resolver. Quando se trata do problema fortaleza-tumor, Nersessian nos informa que quase oitenta por cento dos participantes falham em fazer a analogia entre a história e o problema. Contudo, ao receberem uma dica para utilizarem a história para resolver o problema, aproximadamente setenta por cento consegue realizar a analogia. A solução do problema do tumor é possível “[...] reduzindo a intensidade dos raios à medida que passam pelo tecido saudável e evitando o contato entre os raios e o tecido saudável” (NERSESSIAN, 2008, p. 145), de forma semelhante ao modo como o general conseguiu atacar a fortaleza.

De acordo com ela, embora o caso de Maxwell seja um pouco diferente, a recuperação do domínio fonte, por exemplo, da mecânica de meios contínuos, não parece ter sido difícil. Em suas palavras: “os cientistas estão se baseando em uma compreensão profunda dos domínios fonte e das práticas representacionais de suas comunidades, e recorrer à analogia parece um caminho natural para resolver os problemas” (NERSESSIAN, 2008, p. 147). A questão vai além do grau de especialização, parecendo estar relacionada também ao contexto no qual a pessoa está inserida, pois

quando as pessoas fazem analogias espontâneas em contextos significativos de resolução de problemas, elas recorrem a coisas com as quais estão familiarizadas, enquanto os experimentos psicológicos exigem que elas se lembrem e usem o que acabaram de aprender para resolver problemas que não são seus (NERSESSIAN, 2008, p. 147).

Diante desses resultados, outras pesquisas foram feitas com variações do problema fortaleza-tumor e uma descoberta derivada dessas pesquisas é que quando as pessoas resolvem ou analisam resoluções de problemas que envolvem analogias, elas geralmente abstraem um esquema relacional [*relational schema*] e o utilizam com mais facilidade em outros problemas (NERSESSIAN, 2008).¹⁶

¹⁶ Para mais informações sobre o conceito de esquema, cf. Nersessian (1984, 1985 e 2001).

A etapa da recuperação é seguida pelas etapas de mapeamento e transferência. Por exemplo, abstrair um esquema relacional e utilizá-lo na resolução de um problema já envolve as duas. Após a recuperação, mapeia-se aquilo que pode ser utilizado, o esquema, e em seguida transfere-se para o domínio alvo, aquele que contém o problema que precisa ser resolvido. Voltando ao exemplo do filme “A chegada”, Banks recuperou a ideia de comunicação com base visual, mapeou aquilo que poderia funcionar com os extraterrestres e transferiu ao utilizar em seus encontros com eles. Tendo em mente a relevância dessas etapas, Nersessian cita os critérios, amplamente aceitos nas ciências cognitivas, de “mapeamento de estrutura” [*structure mapping*] da psicóloga Dedre Gentner, que determina que para ser produtiva uma analogia precisa ter:

[...] (1) enfoque estrutural (preservação de estruturas relacionais); (2) consistência estrutural (fazer mapeamentos isomórficos entre sistemas); e (3) sistematicidade (sistemas de mapeamento de estruturas relacionais interconectadas de ordem superior) (NERSESSIAN, 2008, p. 148-149).

Para Nersessian, focar nas estruturas relacionais, fornecendo um modo de avaliar as analogias, e inserir a ideia de sistematicidade são contribuições significativas de Gentner para a pesquisa em raciocínio analógico. Mais especificamente, o critério de sistematicidade “não é apenas o mapeamento de estruturas relacionais, mas é o mapeamento de sistemas interconectados de tais estruturas — isto é, mantendo relações de ordem superior — que tende a tornar as analogias mais produtivas” (NERSESSIAN, 2008, p. 149). De acordo com Nersessian, Maxwell, por exemplo, mapeou sistemas de relações causais, entretanto, o modo como ele realizou esse mapeamento entra em conflito com a teoria puramente sintática de Gentner de alinhamento estrutural e projeção. Segundo essa teoria,

[...] as estruturas de correspondências relacionais são transferidas como identidades [...] e as inferências de [mapeamentos] candidatos são feitas com base na sistematicidade no domínio de origem. Seu relato, portanto, assume que objetivos e informações semânticas não estão envolvidos no mapeamento e na transferência (NERSESSIAN, 2008, p. 149).

Diante disso, para Nersessian, a “teoria multirrestrições” [*multiconstraint theory*] de Keith Holyoak e Paul Thagard, se encaixa melhor com o caso de Maxwell.

Na perspectiva desses autores, não apenas informações semânticas, mas também informações pragmáticas estão envolvidas no processo de transferência, isso pois “[...] transferência requer avaliar a plausibilidade de uma inferência no contexto e, portanto, informações semânticas e pragmáticas ajudam a determinar os mapeamentos candidatos e o que transferir [...]” (NERSESSIAN, 2008, p. 150). Como Nersessian nos apresenta no caso de Maxwell, a interpretação das restrições da eletricidade e magnetismo e os objetivos envolvidos na resolução do problema desse domínio foi o que guiou a seleção das restrições da mecânica de meios contínuos e da mecânica de máquinas. Os modelos por si só trazem consigo novas restrições que guiam o raciocínio do cientista. Dessa forma,

qual mapeamento é feito entre o modelo e o alvo e quais inferências são transferidas são guiadas pela interpretação e objetivo em jogo no estágio particular da resolução do problema. O aspecto de construção de representação da analogia, conforme evidenciado nos exemplos, aponta para processos significativos que estão faltando nas investigações da analogia na bibliografia das ciências cognitivas (NERSESSIAN, 2008, 150-151).

Assim, Nersessian enxerga uma etapa intermediária, a da construção da representação, entre a etapa de recuperação e aquelas de mapeamento e transferência. Quando olhamos para o processo de construção da representação, de acordo com ela, os critérios propostos por Gentner “[...] não são suficientes para explicar como os mapeamentos são determinados. A interpretação no contexto de resolução de problemas determina quais relações do modelo são garantidas na transferência” (NERSESSIAN, 2008, p. 152). Assim, atentar a esse processo de construção nos ajuda a entender melhor os passos de quem está raciocinando. Pensando no caso de Maxwell, seria possível entender a natureza da comparação entre os domínios que ele utilizou, sem olhar para a construção de seus modelos? Por exemplo, como entenderíamos o explorar do domínio da mecânica de máquinas sem saber da restrição imposta pelo modelo, de atrito entre os vórtices? Nersessian destaca que se tornaria impossível “[...] entender como as comparações relacionais são feitas nesses casos se considerássemos apenas a recuperação, mapeamento e transferência e omitíssemos os processos envolvidos na construção das representações do modelo” (NERSESSIAN, 2008, p. 152).

Para além disso, Nersessian aponta para o fato de que nesse processo de construção da representação, novas características a respeito do alvo podem surgir, como resultado da combinação de restrições. Sendo a mudança conceitual na ciência algo complexo, a autora acredita que um processo incremental de construção de modelos seja o habitual. Em sua perspectiva,

a reconceitualização radical de um domínio provavelmente exigirá mais do que apenas construir um modelo único e bem articulado; é mais provável que exija uma série de modelos que sirvam como blocos de construção, movendo-se cada vez mais longe do ponto de partida até chegar à solução do problema e, assim, criar as mudanças conceituais (NERSESSIAN, 2008, p. 153).

Ela ainda ressalta que, mesmo em problemas cotidianos ou em problemas como o fortaleza-tumor, o raciocínio envolvido não é trivial. Assim, do seu ponto de vista, “[...] mesmo em casos cotidianos, a recuperação, o mapeamento e a transferência provavelmente são fenômenos cognitivamente muito mais complexos do que geralmente se supõe” (NERSESSIAN, 2008, p. 153). Por mais que possamos recuperar um domínio fonte como uma espécie de *insight*, o trabalho pesado está em como explorá-lo.

No que diz respeito a essa exploração, a autora nos convida a pensar nas seguintes questões: como aquele que raciocina sabe que a sua interpretação o está levando por um caminho produtivo? Ou, mais especificamente, de onde vem a garantia de que o modo como está raciocinando é uma estratégia confiável para fazer inferências sobre o fenômeno em questão? Para ela, a resposta para essas perguntas gira em torno dos conceitos de isomorfismo e exemplificação. Como mencionado anteriormente, ao avaliar os modelos criados, Maxwell verificou “[...] se as características selecionadas dos modelos eram do mesmo tipo [*same kind*] em relação às dimensões salientes dos fenômenos-alvo” (NERSESSIAN, 2008, p. 56). Nersessian argumenta que esse critério de avaliação de ser do mesmo tipo [*same kind*] indica que o isomorfismo é a base do raciocínio produtivo baseado em modelos na ciência, ao invés da similaridade, um conceito rival na bibliografia filosófica. De acordo com Bas van Fraassen, filósofo da ciência que também se envolve com a discussão sobre modelos e teorias científicas, “o isomorfismo é, obviamente, a identidade total de estrutura, e é um caso-limite da encaixabilidade; se duas estruturas são isomórficas, então cada uma delas pode se encaixar na outra” (VAN FRAASSEN,

2007, p. 87; cf. também FRIGG; NGUYEN, 2021). Lembrando de Maxwell, podemos pensar que as estruturas relacionais do modelo são como uma forma de bolo, no qual as estruturas relacionais reais, o bolo, se encaixam e, da mesma maneira, a forma, as estruturas relacionais do modelo, se encaixa no bolo. O que é importante destacar é que forma e bolo são coisas diferentes. Além disso, Nersessian acredita que

a noção de que estruturas de modelo selecionadas *exemplificam* [*exemplify*] os fenômenos sob investigação servem para explicar o critério do “mesmo tipo” [*same kind*] e ajuda a entender como o raciocínio por meio de um modelo leva a inferências confiáveis sobre os fenômenos (NERSESSIAN, 2008, p. 155).

O conceito de exemplificação foi introduzido por Nelson Goodman em seu livro *Languages of Art: An approach to a theory of symbols* (1968) e é seguido por Nersessian de acordo com tal. Para explicar o que é exemplificação, o autor criou um exemplo sobre um alfaiate e o seu livreto de retalhos de tecido. Quando os clientes do alfaiate consultam o livreto, os retalhos de tecido funcionam como uma amostra, eles são símbolos que exemplificam certas propriedades como a estampa, as cores e a textura. Não é comum que alguém acredite que aqueles retalhos são amostras de tamanho, forma, peso ou valor e a razão para isso, segundo Goodman, está no fato de que essas propriedades não estão sendo exemplificadas no contexto em questão. É evidente que os retalhos possuem tamanho, forma, peso e valor, mas eles não estão fazendo referência a isso nesse caso e esse é o ponto chave: para exemplificar algo é preciso possuir e fazer referência a esse algo. Nas palavras de Goodman, “exemplificação é posse mais referência. Ter sem simbolizar é simplesmente possuir, enquanto simbolizar sem ter é referir de uma forma diferente da exemplificação. O retalho exemplifica somente aquelas propriedades que tem e às quais refere” (GOODMAN, 1968, p. 53). E, ainda, é importante destacar que “se a posse é intrínseca, a referência não é; e apenas quais propriedades de um símbolo são exemplificadas depende de qual sistema particular de simbolização está em vigor” (GOODMAN, 1968, p. 53). Isso explica o motivo pelo qual não é comum que os clientes do alfaiate acreditem que os retalhos são amostras de algo além da estampa, cores e textura. Eles estão cientes de qual sistema de simbolização está em vigor, isto é, sabem o que é um alfaiate e como ele trabalha.

O detalhe para o qual Nersessian chama atenção sobre o seu uso do conceito de Goodman é que ela o está aplicando a modelos conceituais, que são imaginários.

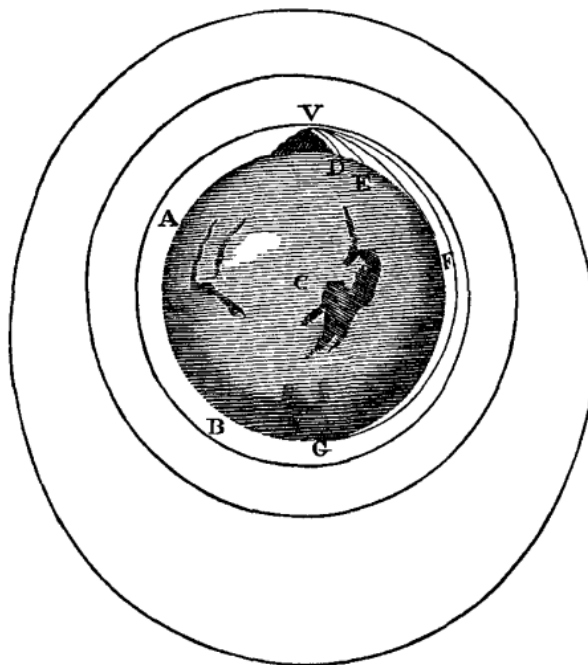
Do ponto de vista dela, essa extensão do conceito para alcançar abstrações é possível e “ajuda a ressaltar que os modelos são construídos de forma que o isomorfismo entre a estrutura relacional no modelo e os fenômenos não seja arbitrário, mas na verdade seja a estrutura relacional em questão” (NERSESSIAN, 2008, p. 155). Ademais, ela encontra base no trabalho de Catherine Elgin, autora que “[...] defende que o valor epistêmico da modelagem, assim como de outras estratégias e símbolos usados pelos cientistas, reside em sua capacidade de exemplificar [...]” (NERSESSIAN, 2008, p. 156; cf. ELGIN, 1996) e não em sua verdade ou pretensão de verdade. Isso se encaixa com aquilo que Nersessian diz a respeito dos modelos: como representações icônicas, eles podem ser avaliados como precisos ou imprecisos e não como verdadeiros ou falsos, como é o caso das representações proposicionais. Dessa forma, o conceito de exemplificação estendido aos modelos conceituais “[...] captura a ideia de representação seletiva — isto é, que um modelo precisa capturar os recursos abstratos ao longo das dimensões relevantes, dados os objetivos e propósitos específicos” (NERSESSIAN, 2008, p. 156). Essa característica seletiva dos modelos é importante porque possibilita àquele que raciocina focar naquilo que é relevante. Assim, “*um modelo satisfatório é aquele que exemplifica características relevantes para os objetivos epistêmicos do solucionador de problemas*” (NERSESSIAN, 2008, p. 157). Por fim, ao lembrar de uma observação de Goodman, a autora diz que o conceito de exemplificação nos mostra como a representação possui uma natureza profundamente cultural. Seguindo as ideias dele, “[...] mais de uma instanciação ou realização de um modelo como uma exemplificação é possível, e o mesmo modelo pode ser interpretado para exemplificar coisas diferentes, dependendo dos objetivos, propósitos e contexto de cada um” (NERSESSIAN, 2008, p. 157; cf. também GOODMAN, 1968, p. 53).

Por fim, segundo Nersessian, na atividade científica a analogia parece estar atrelada a outras práticas. Um bom exemplo apresentado por ela é o da analogia feita por Isaac Newton entre o movimento de um projétil lançado com velocidade crescente do alto de uma montanha e as órbitas dos planetas e da lua (Figura 5). Segundo sua interpretação, nesse caso, a analogia

[...] funciona também como um experimento de pensamento, e Newton esboçou uma representação visual [Figura 5] dos caminhos sucessivos imaginários do projétil da montanha para a Terra,

terminando com a velocidade de escape onde ele também orbitaria a Terra sob o efeito da força centrípeta (NERSESSIAN, 2008, p. 134).

Figura 5 - Desenho de Newton.



Fonte: NERSESSIAN, 2008, p. 134.

Diante disso, na próxima seção nos voltaremos às representações imagéticas, traçando relações entre a pesquisa de Nersessian e a bibliografia tradicional da psicologia e ciências cognitivas.

3.4.2 Representação imagética

Apesar de Nersessian focar em representações imagéticas, isto é, em representações em modalidade visual, ela destaca que “[...] toda a gama de modalidades sensoriais podem ser utilizadas no raciocínio baseado em modelos” (NERSESSIAN, 2008, p. 159). Isso significa também o uso do tato, olfato, paladar e da audição. Contudo, como o foco está nas representações imagéticas, o objetivo dela é analisar as suas funções cognitivas para o raciocínio individual e para os processos de comunicação. Para ela, a representação diagramática do modelo vórtice-rodíziosa (Figura 3) serviu para ambos, ou seja, Maxwell raciocinou por meio do diagrama e o utilizou para comunicar suas ideias à comunidade científica. Somado a isso, como já mencionamos anteriormente, ela compreende representações internas, como modelos mentais, e representações externas, como as representações

imagéticas, como formando um sistema acoplado, um acoplamento representacional. Sendo assim, a perspectiva de Nersessian é a de que as representações imagéticas externas podem contribuir para o raciocínio científico e para defender isso ela encontra apoio na bibliografia das ciências cognitivas a respeito de representações diagramáticas. De acordo com a autora, existe pouca pesquisa a respeito de diagramas gerados em um raciocínio criativo, especificamente, e os mecanismos por meio dos quais diagramas e modelos mentais interagem ainda não são conhecidos. Em contrapartida, existe ampla pesquisa sobre como os diagramas contribuem para o raciocínio, de modo geral, para a resolução de problemas e para a aprendizagem e é a partir disso que ela vai traçar a sua análise.

Para Nersessian, o que há entre diagramas e modelos mentais não são semelhanças, mas sim “[...] correspondências entre os elementos dos modelos mentais, que são interpretações, e os diagramas, que são entendidos em termos dos modelos e quaisquer convenções que a comunidade tenha sobre tais representações” (NERSESSIAN, 2008, p. 161). Por conta disso, realizar transformações no diagrama pode levar a transformações correspondentes no modelo mental, suposição que é compartilhada por James Greeno, segundo a leitura da autora. Além disso, ela explica que os diagramas afetam o que é simulado perceptivamente e como a simulação em questão pode ser transformada posteriormente. Nesse sentido, é importante ter em mente que “[...] as transformações simuladas parecem ser restringidas de maneira paralela à maneira como o mundo é restringido” (NERSESSIAN, 2008, p. 164), um exemplo disso indicado por ela é a pesquisa de Lawrence Parsons. Assim, podemos entender que o diagrama pode tanto restringir quanto facilitar, a depender do acordo que mantém com a realidade física.

Ademais, há várias razões pelas quais podemos considerar os diagramas úteis para a realização tanto de modelagem mental quanto de analogia. Seguindo Nersessian, uma delas é que eles possibilitam o foco da atenção nos aspectos relevantes da situação problema, o que facilita a seleção das restrições dos domínios envolvidos, por exemplo. Somado a isso, o fato de os diagramas proporcionarem informação de localidade [*locality information*] torna viável o uso de mecanismos de inferência perceptiva, fornecendo “[...] insights que podem ser difíceis ou impossíveis de obter com representações proposicionais, mesmo que sejam ‘informacionalmente equivalentes’” (NERSESSIAN, 2008, p. 162). Como exemplo ela menciona a pesquisa de Janice Gobert e John Clement em que “[...] os participantes que desenhavam

diagramas tinham uma melhor compreensão das relações causais e dinâmicas envolvidas na tectônica de placas do que aqueles que apenas escreviam resumos do que liam no livro” (NERSESSIAN, 2008, p. 162). O trabalho de Peter Cheng e Herbert Simon também é citado por ela, por mostrar como os diagramas são utilizados para representar relações conceituais complexas. A investigação de David Gooding reforça essas ideias, isso porque mostra como os diagramas podem facilitar a imaginação de fenômenos e processos tridimensionais acontecendo no tempo (NERSESSIAN, 2008).

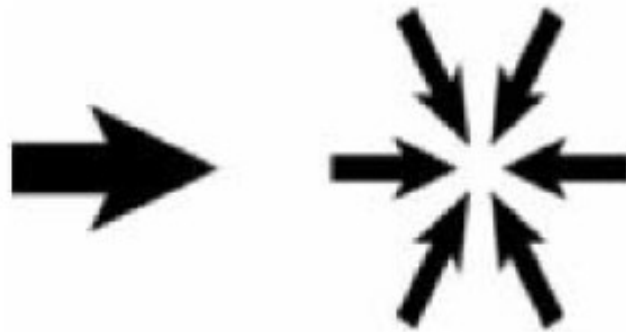
Dado o exposto, a interação entre representações imagéticas e a sua relação com a modelagem mental e analogia parece evidente. Contudo, existem ao menos duas condições para que essas representações possam ser devidamente exploradas, isto é, interpretadas de forma significativa. A primeira condição está associada à trajetória pessoal daquele que raciocina e a segunda a uma propriedade que o diagrama precisa ter. No que se refere à primeira, a autora explica que “para serem interpretadas de forma significativa, as representações diagramáticas precisam estar em conformidade com as convenções da comunidade, e elas são aprendidas” (NERSESSIAN, 2008, p. 164), assim como mostra a pesquisa de Keith Stenning, segundo ela. Sobre isso é importante destacar que nem todas as pessoas têm acesso a uma educação que possibilite a aprendizagem das convenções de sua comunidade, por conta do fenômeno da desigualdade social. Dessa forma, é razoável afirmar que o pleno uso das nossas habilidades cognitivas, de nosso acoplamento representacional, pode ser prejudicado conforme a condição social em que crescemos. Nersessian mesmo menciona a dependência da riqueza de conhecimento para a interpretação de um diagrama.

A segunda condição para interpretar de forma significativa um diagrama diz respeito à situação em que um especialista, ou alguém criado em um contexto que o possibilitou riqueza de conhecimento, não consegue interpretá-lo. A razão para isso, de acordo com Nersessian, nos leva novamente ao conceito de exemplificação. Para que exemplifique, o diagrama precisa ser bem construído,

exemplificando as ideias — em relações particulares — que se destina a representar e transmitir. A exemplificação é importante tanto para a comunicação por meio de representações diagramáticas quanto para representações autogeradas usadas durante os processos de raciocínio (NERSESSIAN, 2008, p. 164-165).

Um bom exemplo da importância da exemplificação daquilo que é relevante para resolução do problema está em uma das pesquisas realizadas sobre o já comentado problema fortaleza-tumor. Nersessian conta que Gick e Holyoak, em um artigo publicado em 1983, forneceram um diagrama (Figura 6) junto com a história da fortaleza com a intenção de ajudar os participantes, mas não foram bem sucedidos nisso.

Figura 6 - Diagrama do problema fortaleza-tumor por Gick e Holyoak de 1983.



Fonte: NERSESSIAN, 2008, p. 165.

O problema do diagrama está no fato dele exemplificar apenas as relações espaciais, a divisão das tropas em unidades menores, mas não a noção de aumento de intensidade, o encontro das unidades menores na fortaleza, que é central para a resolução do problema do tumor (NERSESSIAN, 2008). Segundo a autora, os pesquisadores Michael Beveridge e Eric Parkins conseguiram melhores resultados quando fizeram com que as setas no diagrama tivessem um gradiente de cor, isto é, começavam mais claras, longe da fortaleza, e terminavam mais escuras, perto da fortaleza, exemplificando então a noção de intensidade. Resultados melhores também foram conseguidos por Roberto Pedone, John Hummell e Keith Holyoak, com uma versão semelhante, mas utilizando uma animação em que o movimento indica o aumento de intensidade (NERSESSIAN, 2008).

3.4.3 Experimento de pensamento

Experimentos de pensamento nos oferecem a possibilidade de realizar experimentos que não podem ser realizados no mundo “real”, na situação ou estágio do desenvolvimento científico em questão. Para Nersessian, “[...] executar um

experimento de pensamento envolve construir e simular um modelo mental para determinar o que aconteceria se manipulações específicas ocorressem” (NERSESSIAN, 2008, p. 173). Esses experimentos podem envolver a simulação de algo que está ausente e é até mesmo considerado implausível, como é o caso de Maxwell discutido anteriormente. Contudo, nem por isso eles deixam de ser úteis. De acordo com a autora, o resultado de um experimento de pensamento não funciona como uma solução, mas como a indicação de coordenadas para possíveis mudanças na representação, ou seja, o resultado de um experimento de pensamento aponta para um possível problema e isso é, certamente, útil. A importância de experimentos de pensamento na ciência, então, está enraizada “[...] no contexto de solução de problemas no qual [são conduzidos] e na natureza dos objetivos que aquele que raciocina deseja alcançar” (NERSESSIAN, 2008, p. 174). Dessa forma, a avaliação de um experimento de pensamento como pertinente ou não para a ciência será realizada de acordo com o contexto de solução de problemas e os objetivos daquele que raciocina.

Em seu artigo “Cognitive Science, Mental Modeling, And Thought Experiments” (2018) a autora mantém a mesma hipótese enunciada em *Creating Scientific Concepts* (2008, p. 175), de que

[...] a narrativa de um experimento de pensamento, cuidadosamente elaborada, leva à construção de um modelo mental de um tipo de situação e que simular as consequências da situação à medida que ela se desenrola no tempo permite o acesso epistêmico a aspectos específicos de uma forma de representar o mundo (NERSESSIAN, 2018, p. 320).

Como apresentado anteriormente neste trabalho, Nersessian explorou a linha de pesquisa sobre modelos de discurso e situações. Segundo ela, na proposta dos pesquisadores dessa linha, “[...] as expressões linguísticas auxiliam o leitor/ouvinte na construção de um modelo mental por meio do qual compreende e raciocina sobre a situação retratada pela narrativa” (NERSESSIAN, 2018, p. 313). Levando isso em consideração, Nersessian estende essas ideias para abranger narrativas relacionadas à ciência também, mesmo que essas sejam mais complexas. Além disso, sua ideia sobre narrativa na ciência é

[...] suficientemente ampla para abranger desde descrições diretas, como a descrição esparsa de Galileu de imaginar duas pedras de pesos diferentes, unidas e caindo, em sua exploração das possíveis diferenças nas taxas de queda de corpos até “histórias” mais elaboradas como sua descrição de um artista desenhando em um navio em uma viagem de Veneza a Alexandretta para explorar se é possível perceber o movimento comum (NERSESSIAN, 2018, p. 320).

Seguindo a autora, a narrativa deve nos guiar descrevendo uma sequência de eventos que convidam a audiência a imaginar uma cena dinâmica se desenrolando no tempo (NERSESSIAN, 2008). Ela ressalta também que aquele que está realizando o experimento não precisa estar ciente da importância de sua narração, pois “[...] os experimentos de pensamento provavelmente [são] apresentados na forma narrativa porque o experimentador está tentando transmitir o experimento de uma maneira que ele achou particularmente saliente para sua própria compreensão” (NERSESSIAN, 2018, p. 319).

No artigo supracitado, Nersessian menciona a perspectiva de John Norton sobre os experimentos de pensamento. Para Norton, experimentos de pensamento são argumentos disfarçados, de tal maneira que esses exercícios da imaginação são possíveis porque empregam raciocínios dedutivos e indutivos (NORTON, 2004; NERSESSIAN, 2018). De acordo com a autora, a ideia dele é que os experimentos de pensamento

[...] podem fornecer novos conhecimentos sobre o mundo porque a lógica fornece esquemas de raciocínio confiáveis, de modo que, baseados em premissas verdadeiras (ou altamente prováveis), levam a conclusões verdadeiras (ou altamente prováveis) (NERSESSIAN, 2018, p. 320).

Além disso, ainda seguindo a leitura de Nersessian, o autor acredita que os experimentos de pensamento nos revelam o que há em comum em muitas formulações, o que Nersessian chama de generalidade. Esses dois aspectos são os que tornam os experimentos de pensamento epistemicamente potentes para Norton (NERSESSIAN, 2018; cf. também BRENDEL, 2018). Em contraponto, Nersessian explica que

[...] os resultados do raciocínio baseado em modelo simulativo podem ter a generalidade que ele está vendo, ou seja, eles são interpretados como “genéricos”, isto é, como se referindo a *esse tipo de* fenômeno,

não apenas à situação específica, e são epistemicamente potentes sem ter de recorrer à noção de verdade (NERSESSIAN, 2018, p. 321).

Assim, notamos que, diferentemente de Norton, Nersessian sustenta que experimentos de pensamento são mais do que meros argumentos. Isto é, esses exercícios da imaginação não se limitam a traçar relações entre premissas e conclusões. A questão é que executar um experimento de pensamento envolve construir e simular um modelo mental e “[...] as inferências feitas a partir dele são entendidas como representando *tipos* de objetos, eventos e processos em situações *desse tipo*” (NERSESSIAN, 2018, p. 321). É disso que resulta a generalidade. Quando abstraímos estruturas relacionais de um modelo, entra em cena a abstração por meio de modelagem genérica. Nas palavras da autora, a generalidade “[...] está na capacidade da mente de compreender que — e de que maneira — uma inferência de uma situação específica se aplica a situações desse tipo” (NERSESSIAN, 2018, p. 321).

Nersessian ressalta, ainda, que o que ela tem chamado de “mesmo tipo” [*same kind*] pode ser entendido como exemplificação. Assim como quando discutimos sobre analogias e representações imagéticas, a autora encontra apoio em Elgin, que argumenta que narrativas ficcionais podem oferecer insights sobre quaisquer questões quando são elaboradas para exemplificar características relacionadas a elas (cf. ELGIN, 1996, 2022; FONTANIVE, 2023). Nesse sentido, Nersessian acrescenta que

[...] a narrativa ficcional auxilia na construção de um modelo mental que se refere e instancia essas estruturas relacionais. As narrativas de um experimento de pensamento também são elaboradas de modo a focar a atenção em características relevantes para os objetivos epistêmicos do contexto de solução de problemas (NERSESSIAN, 2008, p. 175).

Desse modo, tendo em mente esses dois aspectos, a perspectiva de Nersessian atende aos mesmos critérios que a de Norton para que os experimentos de pensamento sejam considerados epistemicamente potentes, porém com uma explicação diferente do funcionamento de tais exercícios imaginativos, a qual faz

referência aos modelos mentais.¹⁷ É interessante destacar, contudo, que ao basear-se nas ideias de Elgin, a autora parece seguir uma linha antirrealista, visto que concorda que

[...] para uma prática científica produzir resultados epistemicamente significativos, ela não precisa produzir verdades, mas apenas cumprir seus objetivos cognitivos. A ciência faz uso extensivo de práticas, como demonstrações de casos limites, idealizações, suavização de curvas e modelagem computacional, de modo que insistir em igualar verdade e aceitabilidade epistêmica leva claramente a falsidades (NERSESSIAN, 2018, p. 321).

Por fim, é importante ressaltar as semelhanças, mencionadas por Nersessian, entre experimentos de pensamento e experimentos “reais”. Da mesma maneira que um pode falhar, o outro também pode; da mesma forma que um pode conter em sua narrativa características irrelevantes, o outro também pode; do mesmo modo que há interpretação envolvida em um, há interpretação envolvida no outro; e, ainda, ambos podem necessitar de mais investigações.

¹⁷Uma apresentação mais completa do tema dos experimentos de pensamento foge ao escopo do presente trabalho. É importante ressaltar que, além das abordagens de Nersessian e Norton, também se destacam no debate contemporâneo o Platonismo de James Robert Brown e o construtivismo de Tamar Szabó Gendler. Para tal apresentação e discussão, cf. Brown; Fehige (2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O nosso objetivo neste trabalho foi discutir a contribuição de Nersessian à questão de como surgem novos conceitos na investigação científica. Escolhemos explorar o trabalho dessa autora por conta da amplitude de sua análise da ciência, envolvendo não só a história e a filosofia, mas também as ciências cognitivas. Diante dessa abrangência, alguém poderia questionar: é o seu trabalho filosofia da ciência? Como vimos no capítulo 2, de acordo com o recorte metodológico de análise filosófica da ciência proposto por Reichenbach e Popper e com os manuais para o ensino de filosofia da ciência citados, por se concentrar no contexto de descoberta e utilizar métodos e resultados das ciências empíricas e não uma análise puramente lógica, Nersessian não estaria fazendo filosofia da ciência. A partir dessa perspectiva, tampouco estariam Hanson e Kuhn — e possivelmente também se enquadrariam fora da filosofia muitos trabalhos dos próprios Reichenbach e Popper, proponentes da dicotomia. Contudo, se adotarmos um ponto de vista filosófico pragmatista, esse já não será o caso. Segundo Dutra (2017), a abordagem pragmática se relaciona com uma atitude naturalista, ou seja, a atitude de não considerar uma teoria epistemológica como tendo uma condição privilegiada em comparação com outras teorias científicas. Trata-se de fazer um trabalho descritivo da prática científica e não apenas normativo. Para quem assume essa visão, a colaboração da filosofia com as ciências é um aspecto desejável se o objetivo é um melhor entendimento da prática científica (DUTRA, 2017). Então, para quem parte dessas ideias, Hanson, Kuhn e Nersessian estão sim fazendo filosofia da ciência, só que uma filosofia da ciência naturalizada.

Nersessian afirma que baseia o seu trabalho em três princípios naturalistas, que, como vimos na seção 3.2, pregam que (1) a filosofia deve estar informada acerca das pesquisas realizadas nas ciências, assim como (2) sobre a história da ciência e as práticas científicas contemporâneas, e (3) que a filosofia pode utilizar métodos empíricos no desenvolvimento de testes e hipóteses filosóficas. Nersessian reconhece que a perspectiva naturalista é uma filosofia completamente pragmática. Dado que essa é uma abordagem que preza pela descrição da prática científica, alguém poderia perguntar: ela pretendeu descrever o que de fato ocorreu na mente de Maxwell? Talvez essa pergunta surja de um mal entendido acerca do que é o naturalismo. Dutra (2010) afirma que “adotar uma atitude naturalista é também adotar uma atitude falibilista. O naturalista, nesse caso, apenas deseja entender o conhecimento humano

a partir de nossas práticas cognitivas”. Essa nos parece ser a posição adotada por Nersessian. Ao refletir sobre os três princípios naturalistas de sua abordagem, notamos que nada nesses princípios afirma que aquilo que o naturalista descreve não seja falível. Assim como tudo na ciência, a descrição feita por Nersessian pode conter erros e precisar ser revista. Se comprometer com a verdade de uma descrição é um grande passo, é assumir uma postura realista. Mas nada impede que naturalistas assumam menos compromissos ontológicos, dizendo, por exemplo, que sua descrição é empiricamente adequada, se apoiando em van Fraassen (2007). Neste caso, poderíamos dizer que a descrição de Nersessian “salva os fenômenos”, oferece uma explicação empiricamente adequada sobre o que aconteceu na mente de Maxwell.

Essa perspectiva levanta outra pergunta importante: Nersessian conseguiu descrever o que de fato ocorreu na mente de Maxwell? Essa é uma pergunta que parece não ter uma resposta, visto que não é possível sair da própria investigação para respondê-la. Isto é, Nersessian realizou sua investigação em um pano de fundo histórico, composto por documentos que Maxwell deixou e por reconstruções que foram feitas posteriormente. Contudo, sabemos que a história é sempre contada a partir de um ponto de vista. E, de maneira similar, também os estudos do raciocínio de Maxwell realizados por Nersessian foram feitos a partir de certo referencial teórico das ciências cognitivas, o qual poderia ser diferente, caso essas ciências tivessem se desenvolvido de outra maneira. Ou seja, por mais que Nersessian tenha tomado todas as precauções para que sua investigação seja a melhor e mais minuciosa possível, sabemos que seus resultados de pesquisa possuem uma carga teórica, bem como um enviesamento decorrente da perspectiva histórica. Contudo, essa carga teórica e esse enviesamento não devem ser vistos como se constituíssem um obstáculo que impossibilita a pesquisa. Pelo contrário, a carga teórica e o enviesamento histórico devem ser reconhecidos, já que a investigação sobre o contexto de descoberta na ciência, tal qual a abordamos aqui, não tem outra opção senão se debruçar sobre a história e sobre os processos de raciocínio realizados por cientistas. Dessa forma, podemos responder que sim, que Nersessian conseguiu descrever o que de fato ocorreu na mente de Maxwell, tanto quanto seu enviesamento histórico e seu referencial teórico das ciências cognitivas permitem que se consiga. Nesse sentido, seguindo as ideias de Bas van Fraassen que levantamos no parágrafo anterior, talvez faça mais sentido falar em adequação empírica do que em descrições verdadeiras. E,

claro, como qualquer resultado obtido na ciência, essa descrição é falível, incompleta, enviesada e dependente de contexto.

Uma outra questão que pode ser levantada é sobre o estatuto da figura 4: ela é um modelo? Trata-se da figura, apresentada na seção 3.3 acima, em que temos uma versão do diagrama apresentado por Nersessian (2008, p. 57). Primeiramente, vamos nos atentar ao que Nersessian diz sobre a figura. Em *Creating Scientific Concepts* a figura correspondente é a figura 2.17, a respeito dela é dito que “A Figura 2.17 fornece uma representação esquemática de seus processos de raciocínio que serve para destacar as interações entre o domínio alvo, os domínios fonte e os modelos construídos” (NERSESSIAN, 2008, p. 56). Em outro trecho, ela se refere à figura da mesma maneira: “As Figuras 2.17 e 3.16 são representações esquemáticas dos processos de bootstrapping de Maxwell e S2, respectivamente” (NERSESSIAN, 2008, p. 133). Podemos concluir que, para a autora, a figura é apenas uma representação esquemática. Neste trabalho, nos referimos à figura 4 como uma representação diagramática (seção 3.2). Dessa forma, a figura 4 pode ser entendida como uma representação diagramática de um processo de modelagem, ou seja, como um metamodelo. Trata-se do processo de modelagem de Maxwell, de acordo com as pesquisas de Nersessian. Podemos considerar, então, que a autora realizou um processo de metamodelagem, já que ela modelou um processo de modelagem. Com isso, podemos nos perguntar: seu metamodelo serve apenas para o caso de Maxwell ou para outros casos? As figuras 2.17 e 3.16, citadas por Nersessian anteriormente, compartilham certas características, mas não são exatamente iguais, pois tratam de casos diferentes. Nesse sentido, podemos entender que alguns aspectos do metamodelo podem sim servir para outros casos. Por fim, surge a questão: como podemos avaliar o trabalho de metamodelagem realizado por Nersessian? Se seguirmos as próprias ideias mencionadas pela pesquisadora, podemos entender a figura 4 como uma representação icônica em oposição a uma representação proposicional. Entre as representações icônicas, como já dissemos, estão os modelos análogos, diagramas e representações imagéticas. Esse tipo de representação, segundo Nersessian, representa demonstrativamente ao invés de descritivamente, então, a relação que essa representação mantém com o objeto que representa é uma relação de similaridade. Dessa maneira, a figura 4 será avaliada como precisa ou imprecisa. Na seção 3.2.1 desta dissertação, nos perguntamos “como aquele que raciocina sabe que a sua interpretação o está levando por um caminho produtivo? Ou,

mais especificamente, de onde vem a garantia de que o modo como está raciocinando é uma estratégia confiável para fazer inferências sobre o fenômeno em questão?”. A resposta de Nersessian para essas perguntas envolveu os conceitos de isomorfismo e exemplificação. A ideia é que existem características do modelo que precisam ser do mesmo tipo [*same kind*] em relação às dimensões salientes do fenômeno alvo. “Mesmo tipo”, aqui, significa ser isomórfico. De acordo com Nersessian, um modo de dar conta desse critério é por meio do conceito de exemplificação. Relembrando as palavras de Goodman, exemplificação é posse mais referência. Assim, para Nersessian, *“um modelo satisfatório é aquele que exemplifica características relevantes para os objetivos epistêmicos do solucionador de problemas”* (NERSESSIAN, 2008, p. 157). Diante disso, para avaliar o trabalho desenvolvido por Nersessian que, de acordo com o que estamos dizendo, realizou um raciocínio baseado em modelos que resultou na figura 4, devemos saber quais eram os seus objetivos e analisar se o seu modelo exemplificou as características relevantes, isto é, se as características do modelo são do mesmo tipo em relação às dimensões salientes do fenômeno alvo. Portanto, isso envolveria examinar os mesmos materiais que ela analisou, ou seja, refazer os seus passos, o que extrapolaria os limites deste trabalho, mas que deixamos como sugestão para outra pesquisa. Além disso, é importante ressaltar que o que escrevemos acima é uma das possíveis formas de avaliar o trabalho de Nersessian. Optamos por utilizar das mesmas ideias que ela utiliza para falar de modelos, mas provavelmente existem outras maneiras.

Com tudo isso, Nersessian se junta a Kuhn, lançando ainda mais luz sobre o então chamado contexto de descoberta. Vimos com Kuhn, no capítulo 2, que as descobertas científicas não podem ser atribuídas a apenas uma pessoa em um determinado momento. Elas duram anos e envolvem uma série de pessoas, de modo que podemos considerá-las como eventos históricos. Com Nersessian, vimos que um raciocínio diferente surge nos momentos de criação científica, o raciocínio baseado em modelos. Ele envolve analogias, representações imagéticas e experimentos de pensamento, mas não possui receita, um passo a passo, o que nos indica que não chegaremos a uma descoberta se seguirmos os mesmos passos de Maxwell ou quem quer que seja. As descobertas e criações científicas dependem de um contexto social, cultural, material e cognitivo. Contudo, a complexidade desses eventos não nos impede de ter conhecimento sobre a racionalidade desses processos. Assim, acreditamos que a divulgação do trabalho desses autores pode ser útil para o

enfrentamento da ideia de que a descoberta e a criação científica são frutos de genialidade nata ou dom.¹⁸ Tal ideia pode levar as pessoas a pensarem que para ser um cientista é preciso ser especial, isto é, dessa perspectiva a ciência não seria para todo mundo. Ao nos debruçarmos sobre esses eventos, podemos mostrar que os cientistas não são especiais, mas são apenas pessoas que perseguem um objetivo e que dependem de uma série de fatores para avançar. Nesse processo, eles também erram e discordam uns dos outros. Aquilo que cada um enxerga, depende estritamente daquilo que conhece, como vimos com Hanson. Assim, desmistificando esse assunto, a ciência pode se tornar mais inclusiva.

Indo um pouco mais além, com uma imagem mais realística da prática científica podemos enfrentar também um problema social contemporâneo como o negacionismo científico. Aqueles que sustentam a imagem do cientista gênio ou dotado de um dom, muitas vezes acabam por cair em um discurso chamado por Susan Haack (2007) de deferencialista, no qual a ciência tem a palavra final e é imune a críticas. Ora, se o cientista é especial, ele sabe mais e não deve ser questionado. Esse discurso pode estimular um outro, chamado pela autora de discurso cínico, seu extremo oposto, uma desconfiança extrema na ciência e acolhimento de qualquer crítica. Sabendo das consequências desastrosas do discurso cínico para a sociedade, vide o negacionismo envolvendo as vacinas para a COVID-19, temos que combater qualquer estímulo a ele e sendo o discurso deferencialista um estímulo, além de uma imagem equivocada da ciência, ele também deve ser combatido (cf. também nossa discussão em BERTOTTI, 2020). Um dos muitos modos de enfrentar esse problema é tornando a ciência mais humana, o que é possível por meio do conhecimento sobre o contexto de descoberta.

Assim, após a introdução feita no primeiro capítulo, o capítulo 2 desta dissertação, intitulado “Contexto de descoberta e de justificação”, trouxe uma breve introdução às questões filosóficas que antecederam o trabalho de Nersessian. Iniciamos com a discussão da dicotomia entre o contexto de descoberta e o contexto de justificação, que é considerada tradicional na disciplina e que foi tomada como lugar-comum durante muitas décadas. Para ilustrar esse caráter tradicional, mostramos a influência dessa dicotomia em manuais para o ensino da filosofia da

¹⁸ Nossa discussão buscou superar uma visão restritiva de racionalidade: ao elaborar representações esquemáticas de procedimentos de raciocínio (cf. SCHICKORE, 2022), podemos compreender o passo-a-passo do trabalho intelectual envolvido nesses raciocínios.

ciência, os quais tendiam a tratar apenas do contexto de justificação, negligenciando o contexto de descoberta. Em seguida, passamos a caracterizar a virada ocorrida na disciplina a partir dos trabalhos principalmente de Thomas Kuhn. Abordamos, nesse sentido, a contribuição de Kuhn à questão das mudanças conceituais na ciência e entendemos que a emergência de um contexto de pesquisa em filosofia da ciência no qual a dicotomia tradicional é deixada de lado se constituiu como um antecedente importante para o desenvolvimento das pesquisas de Nersessian.

Tendo desenvolvido um estudo sobre esse contexto de pesquisa, ainda no capítulo 2, introduzimos a proposta naturalista de Nersessian. Concebemos essa proposta como pautada pela ideia de que a filosofia pode se beneficiar de métodos e resultados de pesquisas empíricas, como aquelas das ciências cognitivas. Assim, ao considerar que a dicotomia entre descoberta e justificação pode ser superada, obtivemos como consequência a perspectiva de que há continuidade entre a pesquisa filosófica e algumas pesquisas científicas.

O capítulo 3, intitulado “Raciocínio baseado em modelos”, explorou o trabalho de Nersessian em detalhes. Em primeiro lugar, apresentamos formas de raciocínio mais exploradas pela tradição filosófica, como o raciocínio dedutivo, indutivo e abduutivo. Explicamos que esses são o foco de quem se ocupa da justificação dos raciocínios científicos. Diferente do caso de Nersessian, que ao se voltar para a criação científica, encontra o raciocínio baseado em modelos. Dessa forma, discutimos aquilo que a autora chama de base cognitiva das práticas de raciocínio baseadas em modelos, abordando uma série de pesquisas nas áreas de modelos de discurso e de situações, simulação mental espacial, animação e simulação mental, acoplamento representacional interno-externo e representação mental corporificada [*embodied*]. Com base nisso, apresentamos o caso do físico James Clerk Maxwell, que, de acordo com Nersessian, fez uso do raciocínio baseado em modelos durante a criação das equações de campo eletromagnético. Tendo o caso de Maxwell como pano de fundo, exploramos trabalhos mais específicos acerca de analogias, representações imagéticas e experimentos de pensamento.

O caso de Maxwell chama a atenção e se estabelece como uma fonte importante para esse tipo de estudos porque Nersessian conseguiu encontrar nos registros documentais deixados por ele a evidência do uso do raciocínio baseado em modelos. Dessa forma, notamos que o estudo de Nersessian não se trata simplesmente de uma reconstrução do raciocínio de Maxwell utilizando as

ferramentas das ciências cognitivas, mas também uma reconstrução histórica da descoberta feita pelo cientista. Para essa reconstrução histórica, Nersessian utilizou-se das ferramentas elaboradas por Kuhn quatro décadas antes.

Em um sentido mais geral, podemos concluir que o processo de descoberta pode ser estudado pela filosofia da ciência em uma perspectiva histórica e naturalista, seguindo os passos da criação de conceitos. A obra de Nersessian oferece uma importante contribuição para esse estudo e para o aprofundamento de nossa compreensão filosófica do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, Paulo C. C. A metodologia de J. C. Maxwell e o desenvolvimento da teoria eletromagnética. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 5 (Número Especial), p. 58-75, 1988.
- ALISEDA, Atocha. **Abductive Reasoning: Logical Investigations Into Discovery And Explanation**. Dordrecht: Springer, 2006.
- ARABATZIS, Theodore; KINDI, Vasso. The Problem of Conceptual Change in the Philosophy and History of Science. *In*: VOSNIADOU, Stella (Ed.). **International Handbook of Research on Conceptual Change**. New York: Routledge, 2008. p. 345-373.
- BARSALOU, Lawrence W; PRINZ, Jesse J. Mundane creativity in perceptual symbol systems. *In*: WARD, Thomas B; SMITH, Steven M.; VAID, J. (Ed.). **Creative Thought: A Investigation of Conceptual Structures and Processes**. Washington, D.C., American Psychological Association, 1997. p. 267–307.
- BERTOTTI, Thalyta Gonçalves. Como lidar com a popularização do terraplanismo? Uma proposta a partir da filosofia da ciência de Susan Haack. **Cognitio-Estudos: revista eletrônica de filosofia**, v. 17, n. 2, p. 196-207, 2020.
- BEZERRA, Valter Alnis. Maxwell, a teoria do campo e a desmecanização da física. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 177-220, 2006.
- BRENDEL, Elke. The Argument View: Are thought experiments mere picturesque arguments? *In*: STUART, Michael T.; FEHIGE, Yiftach; BROWN, James Robert (Ed.). **The Routledge Companion To Thought Experiments**. New York: Routledge, 2018. p. 281-292.
- BROWN, James Robert; FEHIGE, Yiftach. Thought Experiments, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2022 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/thought-experiment/>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- CARNAP, Rudolf. Testability and Meaning. **Philosophy of Science**, v. 3, n. 4, p. 419-471, 1936.
- COLLINS, Alan F. The reputation of Kenneth James William Craik. **History of psychology**, v. 16, n. 2, p. 93-111, 2013. <https://doi.org/10.1037/a0031678>.
- CRAIK, Kenneth James Williams. **The nature of explanation**. CUP Archive, 1943.
- DUTRA, Luiz Henrique de Araújo. **Oposições filosóficas: a epistemologia e suas polêmicas**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2019.
- DUTRA, Luiz Henrique de Araújo. **Introdução à teoria da ciência**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2017.

ELGIN, Catherine. Z. **Considered Judgment**. Princeton: Princeton University Press, 1996.

ELGIN, Catherine Z. Models as Felicitous Falsehoods. **Principia: an international journal of epistemology**, v. 26, n. 1, p. 7-23, 2022.

FEIGL, Herbert; BRODBECK, May (Ed.). **Readings in the Philosophy of Science**. New York: Appleton-Century-Crofts, Inc., 1953.

FEYERABEND, Paul K. Explanation, Reduction, and Empiricism. In: FEIGL, Herbert; MAXWELL, Grover. **Scientific Explanation, Space, and Time** (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Volume III.) Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, p. 28-97.

FONTANIVE, Gabriele Caroline. Pandemia, Sociedade e Tecnologia: utilizando obras de ficção na filosofia da tecnologia. In: BERTOTTI, Thalyta Gonçalves; RODRIGUES, Jéssica Gonçalves. (orgs.). **Lógica, ciência e linguagem: Discussões do I Encontro Brasileiro de Filósofas Analíticas**. Florianópolis: NEL/UFSC, 2023.

FRIGG, Roman; HARTMANN, Stephan. Models in Science. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/models-science/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FRIGG, Roman; NGUYEN, James. Scientific Representation. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/scientific-representation/>. Acesso em: 28 set. 2022.

GARCIA, Rafael. 7% dos brasileiros afirmam que a terra é plana. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 14 jul. 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2019/07/7-dos-brasileiros-afirmam-que-terra-e-plana-mostra-pesquisa.shtml>. Acesso em: 29 set. 2022.

GOODMAN, Nelson. **Languages of Art: An approach to a theory of symbols**. New York: Hackett Publishing, 1968.

GOMES DOS SANTOS, Edson. **Análise da Revolução Química de Lavoisier em artigos científicos, publicados no Brasil, na ótica de Thomas Kuhn**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

HAACK, Susan. **Defending Science–Within Reason: between scientism and cynicism**. New York: Prometheus, 2007.

HANSON, Norwood Russell. Observação e Interpretação. In: Morgenbesser, Sidney. (Ed.). **Filosofia da Ciência**. São Paulo: Cultrix, 1979. p. 125-138.

HANSON, Norwood Russell. Seeing and Seeing As. *In: Perception and Discovery: An Introduction to Scientific Inquiry*. Editado por Matthew Lund. Cham: Springer, 2018 [1969], p. 67-82.

HANSON, Norwood Russell. **Patterns of discovery**: An inquiry into the conceptual foundations of science. CUP Archive, 1958.

HOYNINGEN-HUENE, Paul. Context Of Discovery And Context Of Justification. **Stud. Hist. Phil. Sci.**, v. 18, n. 4, 1987, p. 501-515.

KLEMKE, Elmer Daniel; HOLLINGER, Robert; RUDGE, David Wyss; KLINE, David. **Introductory Readings in the Philosophy of Science**. New York: Prometheus Books, 1998.

KUHN, Thomas S. What Are Scientific Revolutions? *In: KUHN, Thomas. The Road Since Structure: philosophical essays, 1970-1993, with an autobiographical interview*. Chicago: The University of Chicago Press, 2000 [1981], p. 13-32.

KUHN, Thomas S. **O caminho desde a estrutura**: ensaios filosóficos, 1970-1993, com uma entrevista autobiográfica. Tradução de Cezar A. Mortari. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2017 [1970].

KUHN, Thomas S. A estrutura histórica da descoberta científica. *In: KUHN, Thomas S. A Tensão Essencial*. São Paulo: Editora Unesp, 2011 [1962], p. 183-194.

MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. *In: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 167-189.

MAXWELL, James Clerk. On physical lines of force. *In: NIVEN, W. D. (Ed.). The scientific papers of James Clerk Maxwell*. v. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1890 [1861-62], p. 451-513.

MOCELLIN, Ronei Clécio. **Lavoisier e a Longa Revolução na Química**. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MORTARI, Cezar A. **Introdução à lógica**. Unesp, 2001.

NERSESSIAN, Nancy J. **Faraday to Einstein**: constructing meaning in scientific theories. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1984.

NERSESSIAN, Nancy J. Faraday's field concept. *In: GOODING, D. C.; JAMES, F. A. J. L. (Ed.). Faraday Rediscovered: Essays on the Life and Work of Michael Faraday*. London: Macmillan, 1985. p. 377-406.

NERSESSIAN, Nancy J. Conceptual change and commensurability. In: SANKEY, H.; HOYNINGEN-HUENE, P. (Ed.). **Incommensurability and Related Matters**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. p. 275-301.

NERSESSIAN, Nancy J. **Creating Scientific Concepts**. MIT Press, 2008.

NERSESSIAN, Nancy J. Cognitive Science, Mental Modeling, And Thought Experiments. In: STUART, Michael T.; FEHIGE, Yiftach; BROWN, James Robert (Ed.). **The Routledge Companion To Thought Experiments**. New York: Routledge, 2018. p. 309-326.

NEURATH, Otto. Encyclopedia as 'Model'. In: COHEN, Robert S.; NEURATH, Marie (Ed.). **Otto Neurath. Philosophical Papers 1913-1946**. Dordrecht: D. Reidel, 1983 [1936], p. 145-158.

NORTON, John. On Thought Experiments: Is There More to the Argument? **Philosophy of Science**, v. 71, p. 1139-1151, 2004.

PITT, David. Mental Representation. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2022 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2022/entries/mental-representation>. Acesso em: 12 nov. 2023.

RYLE, Gilbert. Knowing How and Knowing That: The Presidential Address. **Proceedings of the Aristotelian Society**, v. 46, p. 1-16, 1945-46.

SCHICKORE, Jutta. Scientific Discovery. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2022 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2022/entries/scientific-discovery/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SCHWITZGEBEL, Eric. Introspection. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/introspection/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

TOSI, Lúcia. Lavoisier: Uma revolução na Química. **Química Nova**, vol. 12, p. 33-56, 1989.

UEBEL, Thomas. **Overcoming Logical Positivism From Within**. Atlanta: Rodopi, 1992.

VAN FRAASSEN, Bas C. **A Imagem Científica**. São Paulo: Editora Unesp, 2007.

VILLENEUVE, Denis. **A Chegada** [Arrival]. Filme, 116 minutos. Estados Unidos da América: Paramount Pictures, 2016.