



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS



FERNANDO HENRIQUE LIMBERTI VIANA

**CATEGORIAS FLECKIANAS APLICADAS AO EXPERIMENTO DE
ØRSTED E SUAS DIFERENTES INTERPRETAÇÕES: UMA REVISÃO
EPISTEMOLÓGICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

Campo Grande – MS

2025

FERNANDO HENRIQUE LIMBERTI VIANA

**CATEGORIAS FLECKIANAS APLICADAS AO EXPERIMENTO DE
ØRSTED E SUAS DIFERENTES INTERPRETAÇÕES: UMA REVISÃO
EPISTEMOLÓGICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências do Instituto de Física, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências, sob a orientação do Prof. Dr. João José Caluzi

Campo Grande – MS

2025



Ata de Defesa de Dissertação

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências

Mestrado

Aos onze dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco às treze horas, foi realizado, na Videoconferência da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, o Exame de Defesa do estudante **Fernando Henrique Limberti Viana**, RGA 202300168, CPF nº 393.912.688-89, apresentado sob o título "**Categorias fleckianas aplicadas ao experimento de Oersted e suas diferentes interpretações: uma revisão epistemológica para o ensino de ciências**", e orientação de João José Caluzi. O presidente da Banca Examinadora declarou abertos os trabalhos e agradeceu a presença de todos os Membros. A seguir, concedeu a palavra ao estudante que expôs sua Dissertação. Terminada a exposição, os senhores membros da Banca Examinadora iniciaram as arguições. Terminadas as arguições, o presidente da Banca Examinadora fez suas considerações. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se para avaliação, e após, emitiu parecer expresso conforme segue:

EXAMINADOR:

Dr. João José Caluzi - UFMS (Orientador/Membro Interno)

Dra. Nádia Cristina Guimarães Errobidart - UFMS (Titular/Membro Interno)

Dr. José Bento Suart Júnior - UTFPR (Titular/ Membro Externo)

Dr. Wellington Pereira de Queirós - UFMS (Suplente/Interno)

Dr. Moacir Pereira de Souza Filho - UNESP (Suplente/Externo)

RESULTADO FINAL:

☒	Aprovação	☐	Aprovação com revisão	☐	Reprovação
-------------------------------------	-----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	------------

OBSERVAÇÕES:

Este é o parecer.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Joao José Caluzi, Usuário Externo**, em 17/09/2025, às 08:08, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Jose Bento Suart Junior, Usuário Externo**, em 22/09/2025, às 12:38, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Henrique Limberti Viana, Usuário Externo**, em 22/09/2025, às 17:47, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Nadia Cristina Guimaraes Errobidart, Professora do Magistério Superior**, em 29/09/2025, às 15:28, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5880941** e o código CRC **19B65962**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.011657/2025-04

SEI nº 5880941

A todos aqueles que, mesmo sem o estudo formal e as oportunidades que mereciam, “aprenderam a vida” e ensinaram a persistência, o amor, a coragem e a alegria aos seus filhos e filhas, para que estes voassem mais alto. Dedico, especialmente, à minha querida avó, Auda Maria Viana!

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de uma jornada muito mais longa do que eu gostaria. É fruto do estresse, do cansaço, da frustração e das dores, mas também é fruto da paciência, da esperança, da alegria e do amor — principalmente aquele que recebi.

Agradeço ao meu orientador, João José Caluzi, por todo o apoio e compreensão desde o início da pesquisa, pela paciência e pelas discussões prazerosas sobre ensino, filosofia, política e muito mais. Ao meu caro Eliéverson, por me auxiliar inúmeras vezes na vida de pós graduando e pelas alegrias compartilhadas. Aos professores doutores Wellington Queirós, Daniel Gardelli, José Bento e Nádia Guimarães pelas valiosas sugestões, correções e conselhos propostos nas bancas de qualificação e defesa, que enriqueceram e pavimentaram novos caminhos para esta pesquisa.

Aos meus pais, Rose e Paulo, que nunca duvidaram das minhas capacidades e sempre apoiaram meus sonhos, minhas ideias e meu crescimento. Sem o amor e os inúmeros sacrifícios deles, não sei onde teria parado a caminhada. Aos meus tios, tias, primos e primas, que, mesmo à distância, sempre fomentaram minha alegria.

Aos meus avós, Auda e Gerson, que sempre cuidaram de mim como a um filho, que me deram segurança, alegria e futuro, e que iluminaram inúmeros domingos com sua gentileza, carinho e descontração, além de me darem um pai que me inspira até mesmo a quilômetros de distância. Aos meus avós, Maria e José, que não conheci profundamente, mas que tornaram minha mãe a mulher mais forte, tranquila e alegre que conheço, e que me deram tios e tias tão calorosos.

Aos meus amigos, de todas as partes do nosso Brasil, que compartilharam risadas, choros, sonhos, ideias, medos e, principalmente, carinho. Nunca imaginei que teria tantas pessoas em minha vida querendo ouvir minhas piadas tolas, minhas angústias, minhas imitações baratas e meus conselhos. Obrigado Gabriel, Ana, Felipe, Mayara, Matheus, Marcele, Phelipe, Suzane, Vitor, Geovana e tantos outros que compartilharam momentos serenos comigo.

Aos membros do grupo do Laboratório de Epistemologia, História e Ensino de Física, caríssimos Paulo, Ronivan, Rômulo e Gilmar, pelas discussões enriquecedoras, pelas histórias inspiradoras e pela alegria compartilhada em cada reunião.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, à coordenação e a todos os professores e colegas de pós-graduação, que contribuíram enormemente para minha formação e inspiraram diálogos enriquecedores ao longo de todo o mestrado.

Muito obrigado a todos que participaram, direta e indiretamente, dessa jornada!

*“Porque se chamavam homens
Também se chamavam sonhos
E sonhos não envelhecem”*

Milton Nascimento, Lô Borges e Márcio Borges (1978)

RESUMO

A construção histórica de um fato científico é permeada por múltiplos fatores que envolvem os cientistas, as comunidades científicas, o público e a cultura de um determinado tempo; transpor esta constituição para as salas de aula é um dos maiores desafios dos professores de ciências. A epistemologia de Ludwik Fleck (1896 – 1961) discorre sobre diversos aspectos da produção do conhecimento e fornece, ainda, uma ferramenta de análise com algumas categorias, como os “estilos e coletivos de pensamento”, os “círculos exotéricos e esotéricos” e as “circulações intra e intercoletivas”, que trazem novas visões sobre a real natureza da ciência como uma produção coletiva. A presente pesquisa se propõe a investigar, por meio de uma pesquisa documental de diversos registros históricos do século XIX, referentes ao experimento da interação entre eletricidade e uma agulha magnética de Hans Christian Ørsted, incluindo registros de André-Marie Ampère, Michael Faraday, Jean-Baptiste Biot e Félix Savart, para categorizar possíveis coletivos de pensamento e estilos de pensamento, delineando algumas influências de cada coletivo e que permearam a construção histórica do fato até então chamado de “descoberta do eletromagnetismo”. Por fim, propomos uma abordagem epistemológica fleckiana acerca deste episódio histórico, a fim de proporcionar novas reflexões ao ensino de ciências.

Palavras-chave: Ensino de ciências; Ludwik Fleck; Hans Christian Ørsted; Eletromagnetismo; Estilo de pensamento

ABSTRACT

The historical construction of a scientific fact is shaped by multiple factors involving scientists, scientific communities, the public and the culture of a given time. Bringing this complex constitution into the classroom remains one of the greatest challenges for science teachers. The epistemology of Ludwik Fleck (1896–1961) addresses various aspects of knowledge production and offers an analytical framework through categories such as “thought styles” and “thought collectives,” “esoteric and exoteric circles,” and “intra and intercollective circulations,” which provide new insights into the true nature of science as a collective endeavor. This research aims to investigate, through a documental research of various 19th-century historical records related to Hans Christian Ørsted’s experiment on the interaction between electricity and a magnetic needle, including records by André-Marie Ampère, Michael Faraday, Jean-Baptiste Biot, and Félix Savart, possible thought collectives and thought styles, outlining the influences of each collective in the historical construction of the fact later known as the “discovery of electromagnetism.” Finally, we propose a Fleckian epistemological approach to this historical episode, with the aim of fostering new reflections on science education.

Keywords: Science teaching; Ludwik Fleck; Hans Christian Ørsted; Electromagnetism; Thought style

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. METODOLOGIA.....	10
3. A EPISTEMOLOGIA COMPARADA DE LUDWIK FLECK.....	12
3.1 Protoideias e persistência.....	12
3.2 Experimento e Experiência.....	13
3.3 Estilo de Pensamento.....	14
3.4 Coletivo de Pensamento.....	15
3.5 Circulação <i>intercoletiva</i> e <i>intra-coletiva</i> e círculos <i>exotéricos</i> e <i>esotéricos</i>	16
3.6 Fato Científico.....	19
4. O EXPERIMENTO DE ØRSTED.....	22
4.1 Antecedentes do Experimento.....	22
4.2 A divulgação inicial do Experimento.....	25
4.3 A interpretação de Ørsted.....	27
4.4 A <i>Naturphilosophie</i> e o trabalho de Ørsted.....	29
5. AS INTERPRETAÇÕES DE AMPÈRE, FARADAY, BIOT E SAVART.....	33
5.1 Ampère e o pensamento newtoniano.....	33
5.2 Biot, Savart e o Programa de Pesquisa Laplaciano.....	38
5.3 Faraday e o Empirismo.....	42
6. PROPOSTA DE INTERPRETAÇÃO DA “DESCOBERTA DO ELETROMAGNETISMO”.....	48
6.1 Síntese dos Coletivos de Pensamento.....	48
6.2 Considerações para o Ensino de Ciências.....	50
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
8. REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Hans Christian Ørsted (1777–1851) foi um filósofo natural dinamarquês, contemporâneo de diversos outros nomes que figuram até os dias atuais nos manuais e livros didáticos de Física no que se refere ao estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos. É frequentemente citado como aquele cujo experimento marca o início dos estudos do eletromagnetismo, área que abrange ambos os tipos de fenômenos e suas interconexões. Seu trabalho é apontado como “a primeira indicação de uma relação definida entre magnetismo e eletricidade” (Privat-Deschanel, 1890, p. 656).

Essa afirmação, oriunda de um manual didático da segunda metade do século XIX, ilustra a repercussão gerada pelo experimento naquele contexto histórico e encontra paralelos em outras fontes, como Roget (1831, p. 207) e Peschel e West (1845, p. 193).

O artigo que descreve o experimento em questão, intitulado *O Efeito do Conflito Elétrico sobre a Agulha Magnética* (Ørsted, 1986), trata do fenômeno da deflexão (ou desvio) de uma agulha magnetizada, causada pela ação de um fio metálico conectado às extremidades de uma pilha. Até aquele momento, tal fenômeno não havia sido verificado ou, ao menos, divulgado pelos contemporâneos de Ørsted. Essa observação surpreendeu a comunidade científica do século XIX, por carecer de precedentes diretos, e seu impacto perdura até os dias atuais. Como destacam Chaib e Assis (2007), esse experimento ainda é frequentemente reproduzido nos cursos elementares de ciências.

O presente estudo propõe-se a revisitar o episódio histórico da observação feita por Ørsted, examinando parte da recepção de seus resultados por figuras centrais da história da Física, tais como Jean-Baptiste Biot (1774–1862), Félix Savart (1791–1841), André-Marie Ampère (1775–1836) e Michael Faraday (1791–1867). Busca-se avaliar as interpretações apresentadas por esses cientistas em relação ao desvio da agulha magnética, identificando algumas de suas influências e distinguindo-as da abordagem originalmente proposta em 1820. Em especial, objetiva-se destacar as influências que atuaram sobre o próprio Ørsted, partindo da premissa de que este era adepto da *Naturphilosophie*, corrente filosófica proposta por Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1776–1854), cujos princípios se refletem na interpretação do experimento realizada por Ørsted.

Com o intuito de discutir como essas múltiplas interpretações e influências afetaram a construção das explicações para o fenômeno da deflexão da agulha magnética, este estudo adota como referencial teórico a epistemologia de Ludwik Fleck (1886–1961), médico polonês que dedicou parte de sua trajetória acadêmica à investigação da construção dos fatos científicos. Sua

principal obra, *Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico* (Fleck, 2010), oferece as bases para esta análise. O conceito de “estilo de pensamento”, central em sua teoria, é aqui mobilizado para compreender como diferentes interpretações de um mesmo fenômeno contribuíram para a constituição do campo que hoje se denomina eletromagnetismo.

Dessa forma, a questão central que orienta este trabalho é: **como a epistemologia de Ludwik Fleck pode contribuir para a análise do episódio histórico conhecido como “descoberta do eletromagnetismo”?**

O objetivo geral consiste em elaborar uma interpretação fleckiana do evento histórico em questão, de modo a contribuir para a construção do conhecimento em ciências. Os objetivos específicos estabelecidos são:

- Realizar uma pesquisa documental sobre as interpretações do experimento da agulha magnética, conforme apresentadas por Ørsted, Biot, Savart, Ampère e Faraday;
- Analisar as possíveis influências que incidiram sobre essas interpretações, à luz da epistemologia de Ludwik Fleck;
- Propor uma abordagem epistemológica para o experimento da agulha magnética, com base nos conceitos fleckianos de estilo e coletivo de pensamento.

Este trabalho é composto da presente introdução e mais cinco capítulos. O Capítulo 2 trata da fundamentação metodológica do trabalho, descrevendo os aspectos da pesquisa documental e análise epistemológica aplicadas ao episódio histórico em questão. O Capítulo 3 discute de forma não exaustiva a Epistemologia Comparada de Ludwik Fleck, abordando os principais conceitos e delineando-os de forma a serem úteis à proposta de abordagem epistemológica da “descoberta do eletromagnetismo”. O Capítulo 4 apresenta o Experimento da Agulha Magnética e a interpretação de Ørsted, assim como um panorama de suas concepções filosóficas a luz da epistemologia fleckiana. O Capítulo 5 resume as interpretações do Experimento de acordo com alguns contemporâneos de Ørsted, como Ampère, Faraday, Biot e Savart, esboçando suas concepções filosóficas e principais divergências da interpretação original. Por fim, o Capítulo 6 apresenta a proposta supracitada, aplicando as categorias fleckianas para construir uma perspectiva mais integral acerca da complexidade do Experimento de Ørsted e seus desdobramentos, oferecendo subsídios para novas abordagens ao Ensino de Física.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa divide-se em duas etapas principais:

1. Aplicação dos métodos da pesquisa documental sobre os principais escritos de Hans Christian Ørsted e de alguns de seus contemporâneos, com ênfase no experimento da agulha magnética e na concepção filosófica conhecida como *Naturphilosophie*;
2. Análise epistemológica, com base na abordagem de Ludwik Fleck, dos materiais selecionados, com o objetivo de delimitar os estilos de pensamento que permeiam o episódio conhecido como “descoberta do eletromagnetismo”.

A pesquisa documental constitui tanto um procedimento de coleta e interpretação de documentos quanto um instrumento para o levantamento de informações relevantes de um determinado campo de estudo (Rosa, 2015). Essa abordagem se revela especialmente pertinente neste trabalho, cujo foco recai sobre um episódio histórico amplamente documentado e ainda debatido na literatura contemporânea. A Figura 1 apresenta uma visão esquemática dos materiais de interesse para essa etapa da investigação.

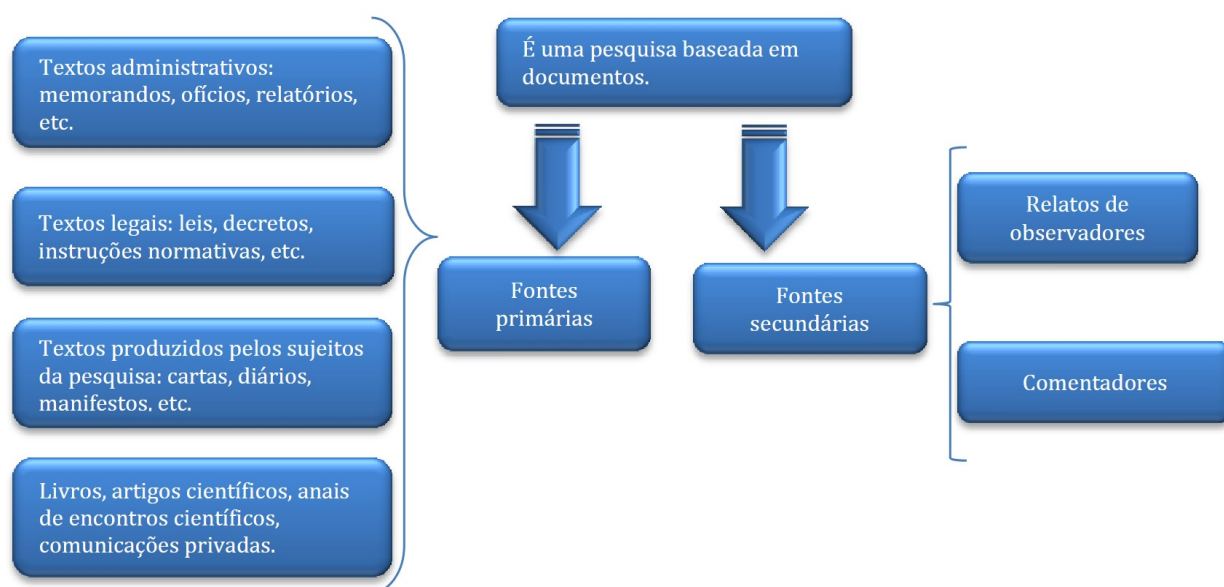


Figura 1: Visão esquemática da Pesquisa Documental (Rosa, 2015, p. 82)

Para a obtenção das fontes primárias e secundárias, foi realizada uma pesquisa não exaustiva em indexadores de artigos e livros especializados em História das Ciências, bem como em bases de dados nacionais e internacionais. O artigo original traduzido de Hans Christian Ørsted, no qual o filósofo natural descreve o episódio da “descoberta do eletromagnetismo” e que é uma das principais fontes primárias deste trabalho, foi acessado por meio do portal de periódicos do Centro

de Lógica da Universidade Estadual de Campinas (CLE - Unicamp), nos *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*.

A leitura e análise dos materiais coletados foram conduzidas com o intuito de subsidiar a posterior abordagem epistemológica. Para isso, todos os documentos foram revisados a partir da elaboração de fichas de leitura, seguindo os parâmetros sugeridos por Rosa (2015), conforme descrito a seguir:

- Título do documento;
 - Autores do documento;
 - Local de publicação do documento (quem publicou, meio de divulgação, dados do meio de divulgação, etc.);
 - Data de publicação do documento;
 - Resumo do documento: assunto sobre o qual trata o documento, hipóteses de trabalho, modelo utilizado, metodologia do trabalho, principais conclusões do trabalho;
 - Sua opinião sobre o trabalho e de como este trabalho se relaciona com seu próprio trabalho e com outros que foram analisados.
- (Rosa, 2015, p. 85)

Na segunda etapa, realizou-se uma estruturação dos materiais analisados para delinear possíveis *estilos de pensamento* associados ao experimento da agulha magnética, suas interpretações e desdobramentos iniciais, conforme propõe Fleck (2010), a fim de possibilitar uma visão mais ampla e integrada deste episódio histórico. Nesta etapa, as categorias fleckianas cumprem um papel de organizar semelhanças entre as concepções de cada filósofo natural analisado, aplicando o conceito de *estilo de pensamento*, e também de estruturar uma compreensão do papel dessas concepções na construção de um fato científico, considerando que:

O estilo de pensamento não é apenas esse ou aquele matiz dos conceitos e essa ou aquela maneira de combiná-los. Ele é uma coerção definida de pensamento e mais: a totalidade das disposições mentais, a disposição para uma e não para outra maneira de perceber e agir. Evidencia-se a dependência do fato científico em relação ao estilo de pensamento. (Fleck, 2010, p. 110)

3. A EPISTEMOLOGIA COMPARADA DE LUDWIK FLECK

O médico polonês Ludwik Fleck (1896 – 1961) desenvolveu diversos trabalhos ao longo de toda a sua carreira, mas, em especial, construiu um repertório epistemológico considerável durante a primeira metade do século XX. Sua *magnum opus*, o livro *Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico*¹, de 1935, condensa anos de revisão histórica sobre a estruturação do conceito moderno de “sífilis”, nome popular para o conjunto de sintomas causados pela presença nociva do *Treponema pallidum* nos seres humanos.² Esta obra será a ferramenta central para definição dos conceitos em Fleck, sendo a partir daqui referida apenas como *Gênese*.

Compreender toda a trajetória histórica, sociológica, epistemológica e científica de Fleck é uma tarefa árdua pela complexidade da época em que o autor viveu, com diferentes tradições, concepções e desafios jamais enfrentados pela humanidade até aquele momento, algo já apontado e explorado em outros trabalhos, como os estudos de Carneiro (2012), que servem de inspiração a presente pesquisa. A discussão deste capítulo será pautada principalmente no *Gênese*, somada a outros escritos do próprio Fleck e outros autores que possam contribuir com a estruturação dos conceitos fleckianos.

3.1 Protoideias e persistência

Ao realizar seu panorama histórico sobre a sífilis, Fleck (2010) enumera diversos fatores que influenciaram a sua estruturação, evolução, destruição e renovação conceitual. Por se tratar de um conjunto de sintomas conhecido e estudado desde antes do século XV (em que se torna centro das atenções da Igreja Católica) foram atribuídas diversas “causas” para a existência desta enfermidade. Enquanto era considerada como punição para “atos libidinosos”, ela tomou uma interpretação ética e mística por séculos; quando era considerada como “desafio sanitário” e como a “epítome das doenças venéreas”, tornou-se objeto de estudo empírico e terapêutico.

As diversas interpretações do que seria esta calamidade frequentemente coexistiam nos mais diferentes grupos de indivíduos e se tornavam contraditórias, fugindo da parametrização lógica. Todavia, todas as interpretações construídas ao longo da história possuíam vínculos que delimitavam grupos com pensamentos distintos acerca do fenômeno observado. Por exemplo, havia

1 No original, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Fleck, 1935)

2 Pode parecer estranho, à primeira vista, não denominar a sífilis simplesmente como uma doença, mas é justamente esse caminho simples que Fleck busca problematizar: por séculos, diversos sintomas, métodos e indivíduos caracterizaram a sífilis de formas distintas. É essa trajetória conceitual que Fleck busca evidenciar para determinar o que constrói um “fato científico”.

inicialmente certa insistência no uso do mercúrio para tratar essa patologia, mesmo que os resultados observados por inúmeros médicos fossem contraditórios. Havia também outra insistência em categorizar a sífilis junto a outras enfermidades como o cancro mole e a gonorreia, mesmo que todas elas possuíssem sintomas distintos. Até mesmo com o advento da chamada “Reação de Wassermann”, método experimental de fixação de complemento³ para detecção da sífilis, diversos grupos mantêm vínculos conceituais rígidos com ideias anteriores, como a ideia do “sangue sífilítico”, que se pautava na existência de uma suposta correlação sanguínea com a transmissão dos patógenos.

O vínculo principal que permeia as mudanças do conceito ao longo do tempo pode ser chamado de *protoideia*. Este conceito fleckiano indica uma relação incontestável entre as diferentes hipóteses produzidas acerca de um determinado fenômeno desconhecido, frequentemente vaga e sem legitimação do seu conteúdo. No caso da sífilis, pode-se delimitar a protoideia do “sangue corrompido”. As protoideias não são restritas à área das ciências médicas: a teoria atômica grega persiste no imaginário dos físicos e químicos por séculos até mesmo quando a estrutura do átomo é estudada de uma nova forma nos séculos XIX e XX (Fleck, 2010).

3.2 Experimento e Experiência

Em sua revisão histórica, Fleck também propõe uma diferenciação importante acerca do experimento e da experimentação que o precede, ao abordar os “experimentos” centrais que auxiliaram na definição do conceito de sífilis ao longo dos séculos. Segundo o autor

Entre o experimento e a experiência assim concebida há, porém, uma diferença muito importante: **o experimento pode ser interpretado como uma pergunta e uma resposta simples**, ao passo que **a experiência deve ser entendida como um estado de educação que repousa na dialética entre o sujeito do conhecimento, o objeto já conhecido e o objeto a ser conhecido**. O alcance de habilidades físicas e psíquicas, a coleta de uma certa quantidade de observações e experimentos, a capacidade de adaptações plásticas de conceitos representam, entretanto, uma série de circunstâncias que escapam a um controle lógico-formal, sendo que a mencionada dialética impossibilita, de vez, uma análise lógico-formal do processo de conhecimento. (Fleck, 2010, p. 51, grifos nossos)

Quando se situa o experimento dentro de um contexto de inúmeras outras formas de relacionar o conhecimento, como observações e adaptações, verifica-se que o experimento por si só não conduz ao fato científico, como aprofundaremos adiante.

3 Método em que um antígeno (conjunto de anticorpos) reage com o patógeno (*Treponema pallidum*) gerando a fixação de proteínas do sangue. Se o soro utilizado contém anticorpos, eles reagem com o antígeno e esta reação leva à fixação do complemento. A reação pode indicar o contágio por sífilis no paciente, mas em muitos casos não é capaz de detectar a sífilis primária e pode até mesmo acusar um “falso positivo”, detectando outras doenças.

O experimento trata tão somente de uma forma de acessar determinado fenômeno e verificar algumas de suas “variáveis”, sendo um processo prático de verificação produzido pelo cientista a partir de suas concepções anteriores e articulando suas ideias com um intuito definido. A experiência, por sua vez, constitui a relação entre os resultados experimentais obtidos pelo cientista e seus pares combinados ao que já se conhece acerca deste determinado fenômeno, que pode proceder de diversas origens, e reitera-se que essa relação foge a lógica do pesquisador, pois, como veremos adiante, ela é moldada pelo estilo de pensamento e torna-se quase “natural” do processo de construção do conhecimento científico.

3.3 Estilo de Pensamento

Quando um conjunto de indivíduos compartilha de vínculos semelhantes, lógicos ou não, pode-se afirmar que eles compartilham de um mesmo *estilo de pensamento*, que delimita o que compõe um sistema de ideias e o que está fora dele. Segundo o autor:

Existe um vínculo no estilo de todos ou muitos - conceitos de uma época, vínculo que consiste em sua influência mútua. Por isso, pode-se falar num **estilo de pensamento (Denkstil)** que determina o estilo de todo conceito. A história ensina que pode haver lutas árduas pelas definições de conceitos. Isso mostra como as convenções igualmente possíveis não são enxergadas como equivalentes, independentemente de quaisquer razões utilitaristas. (Fleck, 2010, p. 49, grifo nosso)

Durante o desenvolvimento científico, há um conjunto de procedimentos ativos para lidar com as contradições, em alguns graus de persistência dos pontos de vista, que evidenciam os estilos de pensamento. Em resumo, de acordo com Fleck (2010, p. 69), quando surge uma inconsistência diante de uma teoria estabelecida, esses graus consistem em:

- *Contradição do sistema* – ela é rechaçada como impensável;
- *Ausência do sistema* – ela é ativamente ignorada;
- *Silenciamento dentro do sistema* – ela é tratada como exceção às regras;
- *Não contradição com esforço* – ela é conciliada ao sistema de ideias;
- *Realização e ficção criativa* – ela é anexada ao sistema e se torna ferramenta.

Todos os graus de persistência apresentam a resistência do estilo de pensamento às influências “externas”, às ameaças ao que é dado como estabelecido e visto como correto. Dentro dos estilos de pensamento, busca-se sempre a legitimação, ou nas palavras do autor:

O caráter fechado dos sistemas, os efeitos recíprocos entre o conhecido, as coisas a serem conhecidas e os atores do conhecimento garantem a harmonia dentro do sistema, que é, ao mesmo tempo, uma **harmonia das ilusões**, que não se resolvem, de maneira alguma, dentro dos limites de um determinado estilo de pensamento. (Fleck, 2010, p. 81, grifo nosso)

Os estilos de pensamento dificilmente produzem soluções a todos os problemas que enfrentam; é nesta “harmonia das ilusões” que habita a persistência dos sistemas de opinião do grupo de pensadores, que manifesta sua grandeza lógica e, como veremos mais à frente, a “coerção” do próprio pensamento. São os estilos de pensamento que borram o “abismo” entre cultura e realidade, na medida em que seus membros atuam sobre ela e ela os faz modificar sua concepção de mundo (Fleck, 2012).

3.4 Coletivo de Pensamento

Os aspectos de um determinado saber não se constituem apenas por meio da relação individualista sujeito-objeto, mas dependem também do estado do saber, histórico e socialmente posicionado, que se torna o eixo de organização e mudança desse saber. É a partir da ideia de que os indivíduos produzem em conjunto e aliados a um determinado *estilo de pensamento* que Fleck lança as bases de sua teoria comparada, ou seja

Se definirmos o "coletivo de pensamento" como a *comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamentos, temos, em cada uma dessas pessoas, um portador do desenvolvimento histórico de uma área de pensamento, de um determinado estado do saber e da cultura, ou seja, de um estilo específico de pensamento*. Assim, o coletivo de pensamento representa o elo que faltava na relação que procuramos. (Fleck, 2010, p. 82, grifo do autor)

Esses coletivos não são necessariamente grupos coesos de indivíduos semelhantes, nem possuem obrigatoriamente semelhanças conceituais, pois eles podem se estruturar a partir de situações e instituições sociais de naturezas distintas. Se considerarmos como mero exemplo um cientista de dados que possui uma prática religiosa próxima ao candomblé, que compartilha dois estilos de pensamento em duas situações diferentes, percebemos também que ele faz parte de mais de um *coletivo de pensamento*: frequenta o coletivo de cientistas de dados, que compartilha de e é suavemente coagido por ideias similares acerca da estruturação de sistemas computacionais, e frequenta o coletivo de candomblé, que compartilha de e é suavemente coagido por conhecimentos derivados da tradição oral das matrizes africanas. Ora, um único indivíduo pode fazer parte de diversos coletivos de pensamento em níveis diferentes, “compartimentando” sua compreensão dos diferentes estilos de pensamento de cada coletivo, ou não. E há de se considerar a influência dos coletivos como determinante, porque

Se a individualidade fosse a peça central da produção de conhecimento, não existiria propaganda, autoridade, amizade, inimizade e outros produtos coletivos que influenciam o saber científico e sua construção. É o condicionamento social que permeia as interações humanas que permite a produção científica e, mais ainda, valida os conhecimentos (Fleck, 2010, p. 87).

A psique de cada indivíduo é permeada de concepções científicas, religiosas, filosóficas, sociais, históricas, artísticas e de outras naturezas: é por meio do coletivo que se legitimam os conceitos, se estruturam as instituições e se desenvolvem os campos de estudos. No artigo *O Problema da Epistemologia*⁴, Fleck aprofunda o conceito de coletivo de pensamento ao considerar a “diferenciação mental coletiva” dos seres humanos. Ao revisitar alguns casos históricos, como os do filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546 – 1601), ele afirma que apesar de suas obras notáveis e da dificuldade em verificar influências pessoais em seus trabalhos, todos os importantes pensadores do passado deixam “marcas textuais” que revelam conceitos não esclarecidos, ideias inacabadas, pensamento primitivo e teorias ingênuas (Fleck, 2012).

3.5 Circulação *intercoletiva* e *intra-coletiva* e círculos *exotéricos* e *esotéricos*

Devido às diferentes concepções e experiências individuais, é possível que uma determinada ideia trafegue por muitos grupos sociais, sendo discutida em termos distintos em cada um deles. Até mesmo nos limites do próprio coletivo de pensamento é possível que uma ideia seja reconstruída de diversas formas, o que produz o fenômeno já citado dos graus de persistência dos pontos de vista.

Pode-se definir a circulação *intra-coletiva* de pensamento como a discussão de ideias dentro de um único coletivo de pensamento a fim de produzir ou desmontar um consenso, e que leva ao fortalecimento das formações de pensamento em uma atmosfera comum, construída sobre a confiança nos iniciados de um coletivo (que nas ciências são os estagiários, graduandos, pós graduandos e pesquisadores), na dependência destes da opinião pública e na solidariedade intelectual entre pares a serviço de uma mesma ideia (Fleck, 2010). Já a circulação *intercoletiva* de pensamento é aquela que ocorre entre os coletivos de pensamento (e consequentemente, estilos de pensamento) que causa deslocamento ou alteração de valores, como uma pequena mudança ou até mesmo uma aniquilação de qualquer sentido, sempre oferecendo novas possibilidades de construção de conhecimento. Um *teste* é algo diferente para um físico e para um psicólogo, assim como uma *história* é algo diferente para um historiador e para um teólogo; mesmo que os dois indivíduos tenham certos pontos conceituais em comum, seu conhecimento absoluto sobre o objeto é distinto.

Segundo Fleck (2010), mesmo com ambos os tipos de circulação, é possível determinar a evolução de um estilo de pensamento seguindo os conceitos remanescentes de estilos anteriores, com suas protoideias e seus “últimos adeptos” (pessoas que preservam partes do estilo mais antigo em comunidades menores), desenhando uma cadeia evolutiva que pode justificar e explicar a

4 No original, *Przegląd Filozoficzny* (1936)

existência das mais diversas ideias atuais. É por meio do estilo de pensamento que se pode definir a verdade, uma solução singular para um problema que satisfaz a maioria dos membros de um coletivo de pensamento, não sendo uma mera convenção, mas “um corte longitudinal no contexto do momento”, uma coerção legítima do pensamento. (Fleck, 2010)

[...] existem, independentemente da eventual organização objetivo-formal de um coletivo estável (por exemplo, da organização de uma comunidade clerical, de um sindicato etc.), características estruturais comuns a todas as comunidades de pensamento como tais. Essa estrutura universal do coletivo de pensamento consiste no seguinte: em torno de qualquer formação do pensamento, seja um dogma religioso, uma ideia científica ou um pensamento artístico, forma-se um pequeno **círculo esotérico** e um **círculo exotérico** maior de participantes do coletivo de pensamento. Um coletivo de pensamento consiste em muitos desses círculos que se sobrepõem, e um indivíduo pertence a vários círculos exotéricos e a poucos círculos esotéricos. Existe uma hierarquia gradual de iniciação e muitos fios que ligam tanto cada um dos níveis, quanto os diversos círculos. O círculo exotérico não possui uma relação imediata com aquela formação de pensamento, mas apenas através da intermediação do círculo esotérico. A relação da maioria dos participantes do coletivo de pensamento com as formações do estilo de pensamento reside, portanto, na confiança nos iniciados. Mas até esses iniciados não são, de maneira alguma, independentes: dependem mais ou menos, de maneira consciente ou inconsciente, da “opinião pública”, isto é, da opinião do círculo exotérico. Dessa maneira surge, de modo geral, o fechamento interno do estilo de pensamento e sua tendência à persistência. (Fleck, 2010, p. 157, grifos nossos)

Nos reservados círculos esotéricos, no qual predomina a circulação intracoletiva de pensamento, surgem as discussões mais adaptadas ao estilo de pensamento, restando pouco espaço para discordância entre conceitos e, conseqüentemente, pouco espaço para a quebra da chamada “harmonia das ilusões”. Nos grandes círculos exotéricos, a contradição e o cruzamento de conceitos se tornam mais evidentes, pois não possuem uma estruturação hierárquica direta como há nos círculos esotéricos. Cabe pontuar que, como já discutido por Lorenzetti (2008) e Nobre-da-Silva et al. (2024), os estilos de pensamento apresentam diferentes “matizes”, interpretações ligeiramente diferentes entre si mas coerentes dentro do estilo, e que representam também as diferentes formas de coerção suave que o estilo de pensamento causa sobre os coletivos e se manifestam nos círculos exotéricos e esotéricos. Como exemplo pictórico, se considerarmos o coletivo de pensamento “pensadores brasileiros do ensino de física”, pode-se dizer que há círculos esotéricos dedicados à “história da física”, “metodologia de ensino de física” e “filosofia do ensino de física”, que interagem em momentos de encontro dos grandes círculos exotéricos, em congressos, palestras, minicursos e outros eventos que agregam especialistas e iniciados e suas discussões podem, ainda apresentar discordâncias que evidenciam a abertura à contradição e os diferentes matizes dentro de seu estilo.

A Figura 2 apresenta um diagrama que pode auxiliar na compreensão da estrutura geral dos coletivos de pensamento na sociedade e que servirá mais adiante na interpretação do experimento da agulha magnética de Ørsted.

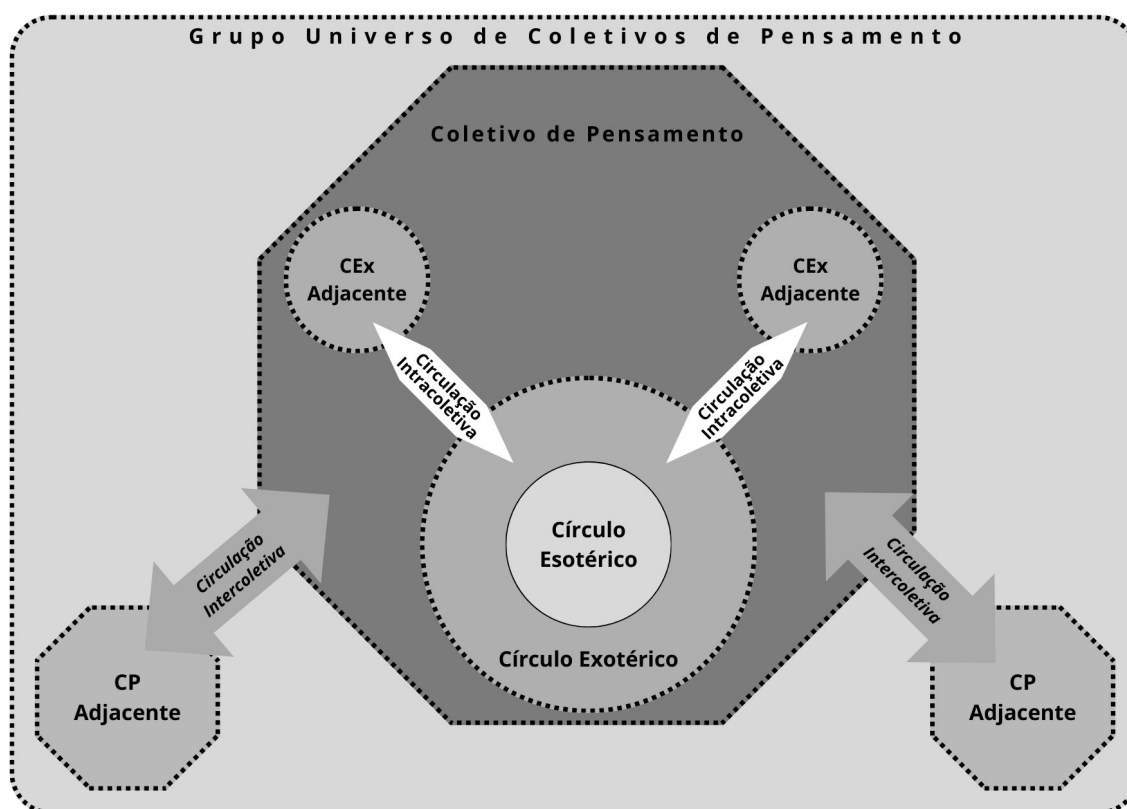


Figura 2: Proposta de esboço da hierarquia e relações conceituais em Fleck (2010). Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura representa os coletivos de pensamento (CP) como octógonos regulares dentro de um universo no qual há outros inúmeros coletivos adjacentes, submetidos a diferentes estilos de pensamento, cada um deles composto de diferentes indivíduos sob um mesmo estilo de pensamento, e que dialogam sobre diferentes conceitos e *fatós* por meio da circulação intercoletiva, representada por flechas de duas pontas que representam o intercâmbio de ideias. Dentro de cada coletivo de pensamento, há círculos exotéricos (Cex), que são compostos pelos iniciados do coletivo que promovem a circulação intracoletiva de ideias, representada por flechas (em bloco, de duas pontas), e círculos esotéricos (CEs) que formam os núcleos duros de especialistas do coletivo. As linhas tracejadas representam a permeabilidade de cada grupo de indivíduos para o tráfego de ideias, que não foram utilizadas nos círculos esotéricos, já que estes possuem maior grau de rigidez conceitual. Retomando o exemplo pictórico anterior, há núcleos duros de especialistas que estudam “história da física”, “metodologia de ensino de física” e “filosofia do ensino de física” que compõem diferentes círculos esotéricos que agregam iniciados em torno de si, como graduandos, pós graduandos e afins, que por sua vez formam os círculos exotéricos; o grande conjunto de círculos exotéricos que estão sob efeito de um mesmo estilo de pensamento formam o coletivo de pensamento dos “pensadores do ensino de física”.

3.6 Fato Científico

Para Fleck, o fato surge no mundo de um determinado coletivo como “sinal de resistência” ao pensamento desorganizado e, depois, torna-se “uma forma (*Gestalt*) a ser percebida de forma imediata” (Fleck, 2010, p. 144), o que indica a centralidade do fato na definição do modo como os próprios coletivos operam no seu processo de construção do conhecimento. O autor apresenta o fato como dependente do próprio coletivo de pensamento, de forma que o coletivo não trata um fato de forma isolada, mas sim como interconectado com os demais que produzem a própria estruturação do coletivo em torno de seus objetos de estudo. Em suas palavras:

O fato, assim definido como “**sinal de resistência para o coletivo de pensamento**”, contém toda a escala dos possíveis modos de constatação: do grito de dor de uma criança, que esbarra em algum objeto duro, passando pelas alucinações de um paciente, até o sistema emaranhado das ciências. Nunca um fato é completamente independente de outros: ou se manifestam como um conjunto mais ou menos coeso do sinal particular, ou como sistema do conhecimento que obedece à leis próprias. Por isso, **cada fato repercute retroativamente em outros**, e cada mudança, cada descoberta exercem um efeito em um campo que, na verdade, não tem limites: um saber desenvolvido, elaborado na forma de um sistema harmonioso, possui a característica de cada fato novo alterar todos os anteriores, por menor que seja essa alteração. Nesse caso, cada descoberta é, na verdade, a recriação do mundo inteiro de um coletivo de pensamento. (Fleck, 2010, p. 153, grifos nossos)

Um fato pode causar a “recriação” do mundo de um coletivo de pensamento pois sua própria existência pode desafiar o coletivo, de maneira que as hipóteses, explicações e testes aplicados por seus membros se conectam com outras que as precedem, o que se torna evidente na própria estruturação da produção científica.

Ao enumerar os tipos de produções científicas, Fleck argumenta que há diferentes níveis de “consenso”, “legitimação” e “informação” presentes em cada um deles. Citam-se, por exemplo, a ciência popular (como a divulgação científica, programas educativos, televisão e cinema), a ciência dos livros didáticos (como livros-texto e livros didáticos escolares), a ciência dos periódicos (como revistas, artigos e congressos) e, por fim, a ciência dos manuais (como manuais técnicos, meta-análises estruturadas e relatórios especializados).

A ciência popular se caracteriza pela difusão de conceitos científicos em meios não especializados, podendo surgir nos termos utilizados por outras ciências (por exemplo, *substância* na filosofia e *organismo* na economia) e é em torno desses conceitos mais difundidos que surge a ciência especializada. Pouco estudada na época de Fleck, muito peculiar e emaranhada, ela se baseia numa simplificação artificial, de exposição vívida e ilustrativa e pouco crítica (sem avaliação rigorosa), que busca constituir visão de mundo nos indivíduos ditos leigos, buscando criar apenas o que seria uma ilustração dos conceitos especializados, sem suas polêmicas ou detalhes. Todavia, essa ciência não pode ser ignorada ou desmerecida, pois:

Por mais que qualquer visão de mundo seja insignificante para as pretensões de um especialista, ela forma, assim mesmo, o **pano de fundo** que determina os traços gerais do seu estilo de pensamento, mesmo que se trate apenas de um sentimento elevado das relações interligadas de todo o saber humano; ou da crença na possibilidade de uma ciência universal, ou da crença na capacidade, embora limitada, de desenvolvimento da ciência. Dessa maneira, fecha-se o círculo da dependência intracoletiva do saber: a partir do saber especializado (esotérico), surge o saber popular (exotérico). [...] O saber popular forma a opinião pública específica e a visão de mundo, surtindo, dessa forma, um efeito retroativo no especialista. (Fleck, 2010, p. 166, grifo nosso)

Entende-se a partir do trecho acima que a certeza, a simplicidade e, principalmente, a *plasticidade* conceitual existem somente na popularização da ciência, e o que se constitui fato em suas representações pode até mesmo não ter correlação com o que se constitui fato nas demais ciências. Essa dinâmica entre o saber especializado e o saber popular constitui um dos motores para o desenvolvimento da ciência a partir das influências mútuas entre esses círculos, o que torna ambas de extrema importância na construção do fato.

A ciência dos livros didáticos, que não abordaremos a fundo, constitui no primeiro contato *exotérico* do saber especializado com o público em geral e busca reduzir drasticamente a plasticidade conceitual, sem reduzir o caráter ilustrativo de seu conteúdo. Como tem caráter pedagógico, é o primeiro contato dos iniciados de um coletivo de pensamento com a ciência melhor estruturada. Porém, faz-se necessário frisar que, mesmo que essa ciência busque estabelecer um consenso para o ensino, sua credibilidade diminui lentamente com novas informações, elaboração de novas teorias e desmanche de teorias incompletas.

A ciência dos periódicos, de validade ainda mais fugaz que a ciência dos livros didáticos, apresenta o caráter pessoal dos cientistas e tende a representar os fenômenos estudados de forma concisa, sem plasticidade conceitual, e seguindo parâmetros mais técnicos de experimentação, escrita e divulgação, visando precisamente a legitimação do conhecimento apresentado (Fleck, 2010). Ainda assim, não se encontra a “verdade” absoluta nestes textos, apenas um vislumbre dela; o coletivo de pensamento e o pesquisador ainda mantém certos pensamentos e ilusões que povoam seu trabalho. (Fleck, 2012) Como essa ciência cumpre um papel de circulação inter e intracoletiva, deve haver um esforço de convencimento por parte do pesquisador. Fleck aponta que

Somente uma frase em sua relevância natural, ou seja, em seu significado social dentro da sociedade, possui um significado definido; uma frase abstrata pode ser compreendida de diferentes maneiras: pode ser ambígua ou sem sentido, dependendo do círculo do destinatário. [...] Se formulo uma certa ideia para os membros de outro coletivo de pensamento, transformo-a de modo a aproximá-la do estilo desse coletivo. Assim, tento criar um coletivo comum, algo intermediário, mais pobre em conteúdo, mas mais amplo. Tento mudar o estilo da ideia em questão. Tal formulação e transmissão de uma ideia é chamada de **propaganda**.⁵ (Fleck, 2012, p. 85, grifo nosso)

5 No original, “Only a sentence in its natural relevance, i.e. in its social meaning within the society, possesses a definite meaning; an abstract sentence can be understood in different manner: it can be equivocal or meaningless, depending on the circle of the recipient. [...] If I formulate a certain idea for the members of another thought-

Por fim, a ciência dos manuais, com sua construção metódica, sua rigidez conceitual, sua concisão argumentativa e representativa de um coletivo de pensamento em quase total consenso, é aquela que estrutura o chamado *fato científico*. Enquanto a ciência dos periódicos ocupa um espaço de vanguarda, mais distante do que é “cristalizado” no coletivo, os manuais buscam determinar parâmetros claros para que seus membros lidem com as “descobertas”, problemas e discussões em um mesmo nível, mantendo a coerência do estilo de pensamento. A própria construção do conhecimento só é validada quando se reconhece este fenômeno: um pesquisador iniciante sempre deve conhecer e apresentar a literatura estabelecida de seu campo de estudo antes de entrar no estado de vanguarda, ou seja, deve explicitar o que já se sabe sobre o tema (mesmo que seja ultrapassado) antes de tratar do que está sendo pesquisado sobre ele no presente momento, sempre buscando a validação de seu círculo esotérico (Fleck, 2010).

Por fim, após essa revisão não exaustiva das categorias fleckianas, pode-se enunciar o *fato científico* como uma entidade investigável de acordo com parâmetros históricos, epistemológicos, sociais, psicológicos ou de outra espécie que, dentro de um determinado estilo de pensamento, consitui-se em uma multiplicidade de conceitos relacionados com um coletivo de pensamento que o legitima e que jamais será constituído em sua totalidade, dado o processo de estruturação, legitimação e comunicação do conhecimento científico.

A obra epistemológica de Ludwik Fleck é vasta e possui grande riqueza conceitual que não serão exploradas em sua totalidade nesta dissertação. Outrossim, os conceitos aqui discutidos servirão, finalmente, para construir uma nova compreensão do episódio da “descoberta do eletromagnetismo”, a partir dos pontos de vistas de Ørsted e seus contemporâneos.

collective, I transform it so as to render it approximate to the style of that collective. Thus I try to create a common collective, somewhat intermediary, poorer in substance, but wider. I try to change the style of the given idea. Such a formulation and transmission of an idea is called propaganda.”(Fleck, 2012, p. 85)

4. O EXPERIMENTO DE ØRSTED

4.1 Antecedentes do Experimento

Após a publicação dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*⁶ por Isaac Newton (1643–1727), em 1687, a comunidade científica europeia foi profundamente impactada por suas concepções e estudos, os quais influenciaram o desenvolvimento de pesquisas sobre diversos fenômenos, para além do movimento dos corpos, foco principal do filósofo natural inglês. Segundo Williams (1962), mesmo mais de cem anos após a publicação do *Principia*, os estudos sobre fenômenos elétricos e magnéticos ainda não contavam com interpretações completas. Por essa razão, a explicação das atrações e repulsões entre ímãs e corpos eletrizados recaía, em grande medida, sobre o princípio da ação e reação a distância que atuam na linha reta que liga os dois corpos, com sentidos opostos, conforme proposto por Newton.

Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806), filósofo natural francês, dedicou-se ao estudo das interações elétricas e magnéticas de forma separada, em diferentes ocasiões. Por meio de seus experimentos conhecidos como “balança de torção de Coulomb” e “balança de oscilação de Coulomb”, procurou mensurar a intensidade da força elétrica e estimar as grandezas que influenciavam a atuação dessa força. A Figura 3 apresenta o dispositivo da balança de torção, composto por um par de esferas que, ao serem eletrizadas com cargas elétricas de mesma natureza, positiva ou negativa, passam a sofrer a ação de uma força capaz de torcer um fio suspenso, o qual está fixado a uma haste que impede o movimento translacional do sistema (Coulomb et al., 1789). Ele verificou que a força elétrica crescia com o quadrado da distância conforme as esferas se aproximavam quando carregadas com cargas elétricas de naturezas distintas, todavia a força de torção crescia apenas com o aumento linear do ângulo de torção. Logo, a tendência era que ocorresse um choque entre as bolas, mesmo colocando um dielétrico para impedir a colisão e, assim, os resultados perdiam boa parte da sua precisão.

6 No original, *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Será referido daqui em diante somente como *Principia*.

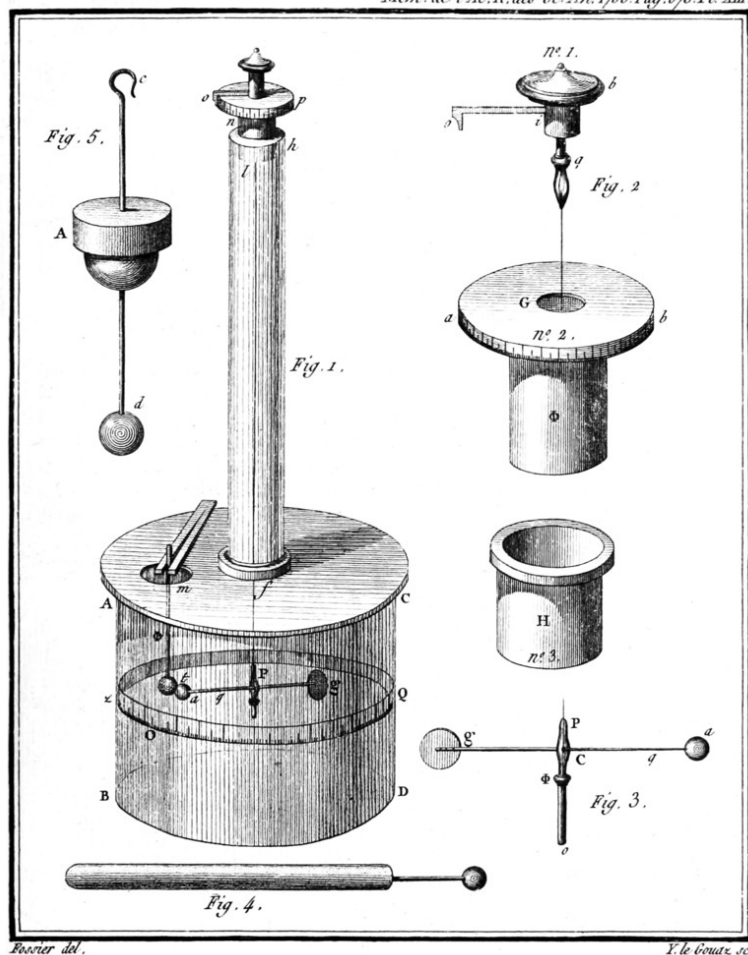


Figura 3: Esboços de Charles Coulomb relativos a seus experimentos com a balança de torção. As esferas *a* e *d* podem ser carregadas eletricamente para torcer o fio por meio da ação da força elétrica. O experimento busca isolar apenas os efeitos elétricos da matéria (Coulomb et al., 1789, p. 16).

Para medir a força de atração, assim como a quantidade e densidade superficial de carga de uma esfera carregada, Coulomb propõe a balança de oscilação, presente na Figura 4, que mantém uma barra com extremidade eletrizada próxima a outra esfera carregada sem que ambas se toquem, de forma que a barra pode oscilar de forma análoga a um pêndulo utilizado para medir a atração gravitacional. Ele experimentou oscilar a barra em algumas posições da esfera carregada, verificando que ela oscilava de forma cada vez mais lenta quanto mais era afastada do globo, mostrando que o aumento do período do pêndulo era linear em relação a distância. Para determinar a força elétrica atrativa, ele parte da prova proposta por Newton no *Principia*, considerando as forças atrativas em corpos esféricos e, combinando os resultados obtidos em ambos os experimentos, estrutura a lei do inverso do quadrado da distância para a eletricidade.

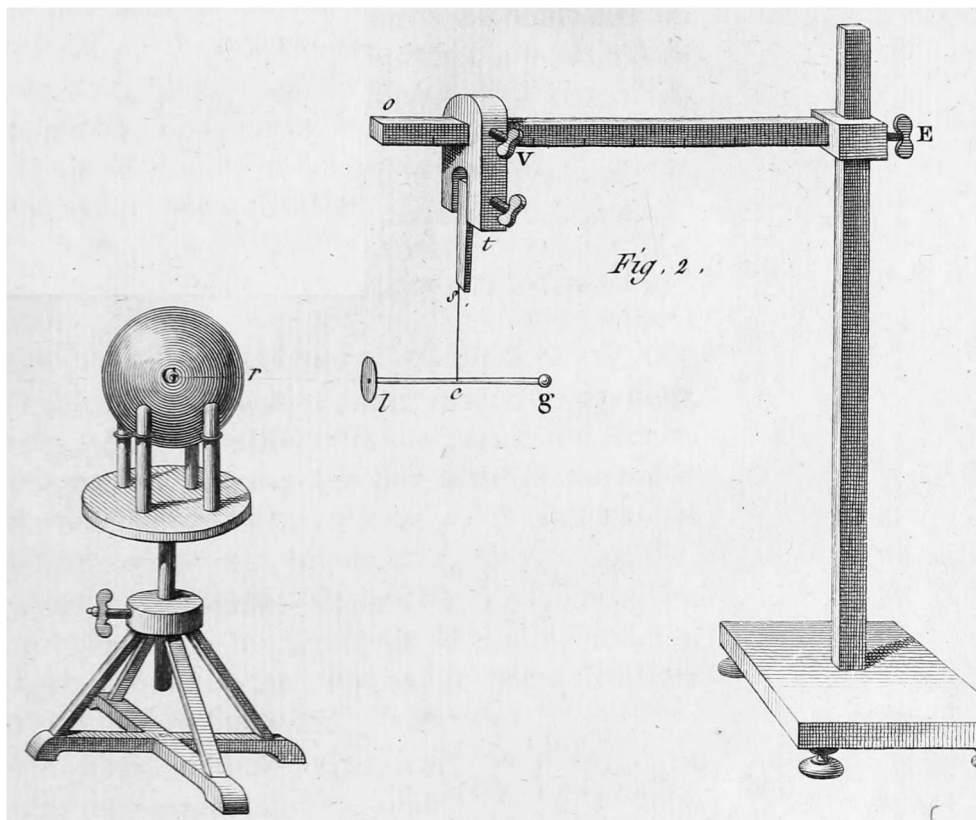


Figura 4: Esboços de Charles Coulomb relativos a seus experimentos com a balança de oscilação. A esfera G o disco l podem ser carregadas eletricamente e, ao serem aproximados, surge a força de atração, que pode ser determinada de forma análoga a força gravitacional quando a barra c é colocada em movimento pendular. O experimento busca isolar apenas os efeitos elétricos da matéria (Assis, 2022, p. 224).

Em suas publicações, o filósofo francês tratava os fenômenos elétricos e magnéticos de maneira distinta, posicionando-se contrariamente à hipótese de uma interação direta entre eles. A insistência de Coulomb na inexistência de uma relação entre eletricidade e magnetismo, apesar de suas similaridades, fundamentava-se em uma visão segundo a qual cada um dos dois “fluidos imponderáveis” atuava apenas sobre regiões distintas das moléculas: enquanto o fluido elétrico agiria sobre os espaços intermoleculares, o fluido magnético atuaria exclusivamente no interior das moléculas magnéticas (Williams, 1962). Mesmo com o surgimento da pilha de Alessandro Volta (1745–1847), dispositivo que abriu caminho para o estudo da eletricidade em movimento, as investigações que buscavam estabelecer relações entre os fenômenos elétricos e magnéticos foram escassas até a realização do experimento da agulha magnética por Ørsted.

André-Marie Ampère, filósofo natural francês contemporâneo de Coulomb, reconheceu o caráter inusitado dessa ausência de investigação, ao destacar que:

Você está certo em dizer que é inconcebível que por vinte anos [após a criação da Pilha de Volta] ninguém testou a ação da pilha voltaica sobre um ímã. Eu acredito, entretanto, que é possível associar isto a uma causa: foi [devido a] a hipótese de Coulomb sobre a natureza da ação magnética. As pessoas acreditavam que essa hipótese era um fato e descartavam qualquer ideia de uma ação entre eletricidade e os designados fios magnéticos. Todos haviam decidido que era impossível. (Ampère apud Williams, 1962, p. 114, tradução nossa)⁷

Neste contexto histórico, é possível compreender os motivos que fizeram do experimento de Ørsted um marco nos estudos sobre eletricidade e magnetismo.

4.2 A divulgação inicial do Experimento

O *Experimento da Agulha Magnética* de Hans Christian Ørsted⁸ foi originalmente publicado em 1820, sob a forma de uma breve comunicação científica distribuída em panfletos a diversos pesquisadores europeus. Sua tradução para o português foi apresentada por Martins (1986).

Nesse texto, Ørsted tornou público seu resultado experimental de que um fio cujas extremidades eram ligadas aos polos de uma pilha era capaz de defletir uma agulha magnetizada, buscando descrever as condições experimentais necessárias para a observação do fenômeno. No entanto, o panfleto não continha ilustrações que permitissem visualizar com clareza o aparato experimental utilizado pelo filósofo natural dinamarquês, tampouco apresentava uma interpretação aprofundada do fenômeno. Buscaremos aqui oferecer uma descrição não exaustiva das observações realizadas nesse experimento e da interpretação original proposta por Ørsted.

Segundo o autor, ao aproximar um fio condutor de uma agulha imantada em uma configuração que permitia à agulha girar livremente, sem se deslocar em outras direções, ele observou uma deflexão significativa da agulha, cuja direção variava conforme a posição do fio condutor. A deflexão era máxima quando o fio se encontrava sobre ou sob a agulha, em uma direção paralela a ela (Ørsted, 1986). A Figura 5 apresenta alguns esquemas presentes em um dos cadernos de anotações do próprio Ørsted, que não constavam na divulgação inicial dos resultados.

7 No original, “You are quite right in saying that it is inconceivable that for twenty years no one tried the action of the voltaic pile upon a magnet. I believe, however, that one can assign a cause for this; it was Coulomb’s hypothesis on the nature of magnetic action. People believed this hypothesis was a fact and discarded any idea of an action between electricity and the so-called magnetic wires. . . . Everyone had already decided that [interaction] was impossible.(3)” (Ampère apud Williams, 1962, p. 114)

8 No original, *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*.

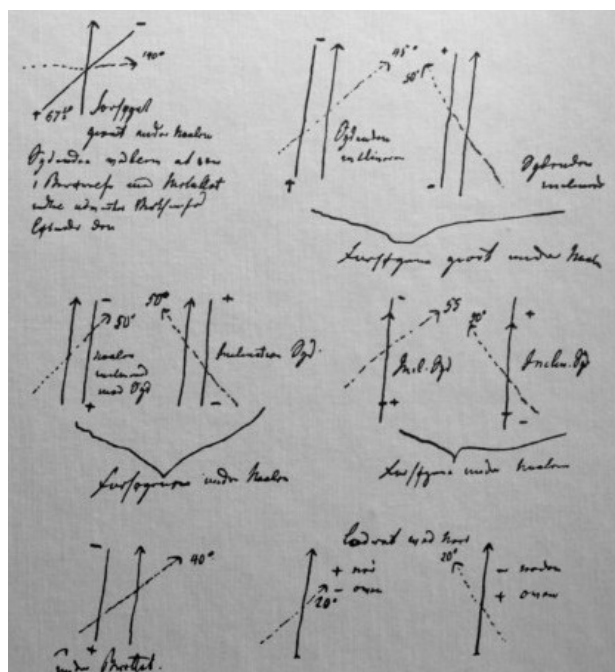


Figura 5: Esboços de Hans Christian Ørsted relativos a seus experimentos de 1820, apresentando variações para a configuração da agulha e do fio condutor, como mudanças no ângulo formado na sobreposição entre a agulha (seta tracejada) e o fio condutor (seta) (Eranksen, 1981, capa).

Esses esboços de Ørsted não acompanharam a publicação do artigo original, sendo publicados em textos posteriores após a disseminação de discussões acerca dos resultados obtidos pelo autor. Eles apresentam diferentes configurações da agulha magnética (seta tracejada) em relação ao fio condutor (seta) e permitem verificar, por exemplo, que a deflexão observada pelo filósofo não ultrapassa o valor de 67° , evidenciando as limitações do experimento original que são geralmente ignoradas pelos livros didáticos (Caluzi et. al., 2007) e que somente são superadas quando Ampère cria a Agulha Astática, que será apresentada e discutida mais adiante. Todavia, mesmo que o esboço facilite o entendimento do resultado observado em 1820, há pouca clareza sobre como era o aparato experimental no artigo original.

Para facilitar o entendimento do fenômeno, a Figura 6 apresenta uma esquematização do aparato experimental em que se observou a deflexão máxima da agulha magnética. O experimento foi conduzido durante uma aula sobre Eletricidade, Galvanismo e Magnetismo, ministrada no inverno de 1819, na Universidade de Copenhague.

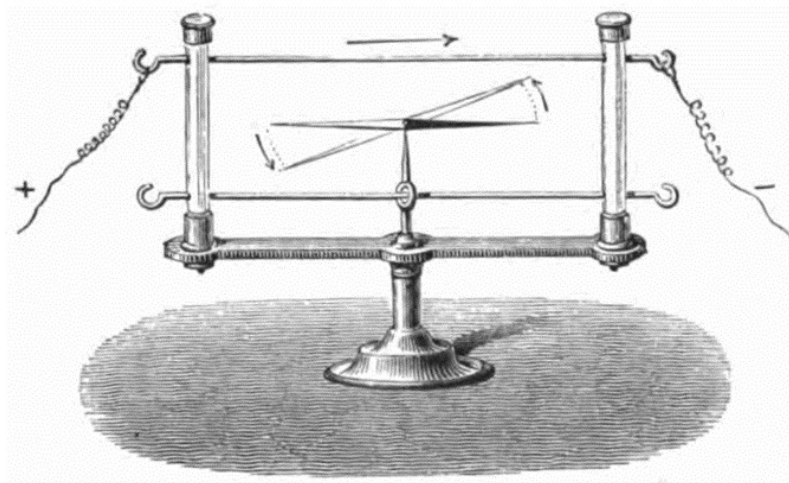


Figura 6: Esquema do experimento de Ørsted. Fonte: (Privat-Deschanel; Everett, 1890, p. 697, Fig. 456)

A figura acima omite o aparato que Ørsted utilizou para gerar o fluxo elétrico através do fio condutor, mas mostra que, quando o fio condutor se encontra conectado ao suporte acima da agulha magnética com um fluxo elétrico positivo à esquerda da figura e negativo à direita, há uma deflexão no sentido anti-horário, observada no experimento original. Caso o fio, conduzindo o fluxo da mesma forma, esteja conectado ao suporte abaixo da agulha, surge uma deflexão no sentido horário, conforme relatado na primeira divulgação dos resultados do experimento.

4.3 A interpretação de Ørsted

Vale destacar alguns aspectos do conteúdo apresentado por Ørsted ao divulgar seus resultados e a interpretação que propõe em seu panfleto. Logo nos parágrafos iniciais, o filósofo natural afirma que suas ideias, que o conduziram à “descoberta” do fenômeno, “seriam capazes de esclarecer melhor os fatos descobertos” (Ørsted, 1986, p. 116), ponto que será discutido mais adiante neste trabalho. Posteriormente, ao interpretar os resultados obtidos, ele declara:

Também se pode concluir das observações que esse conflito age por rotações [*gyros*], pois parece que essa é a condição sem a qual não se pode compreender que a mesma parte do fio de conexão, colocado abaixo do polo magnético o leve para leste, e colocado acima dele o mova para oeste; pois tal é a natureza da rotação, que movimentos em partes opostas possuem direções opostas. Além disso, pareceria que um movimento de rotação, unido a um movimento progressivo dirigido segundo o comprimento do condutor, deveria formar uma linha conchoidal ou espiral ou seja, em hélice, mas isso, se não me engano, não contribui para a explicação dos fenômenos explicados até agora. (Ørsted, 1986, p. 121, grifo do autor)

A explicação apresentada no texto original se baseia na ideia de um conflito de turbilhões invisíveis (que o autor denomina “gyros conchoidais”), compostos por fluidos elétricos positivos e negativos. Uma representação gráfica desse conflito pode ser observada na Figura 7.

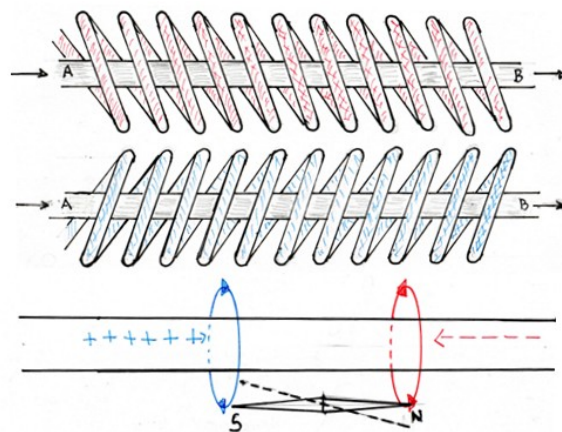


Figura 7: Esquema representativo da “espiral tridimensional” em torno do fio, conforme a descrito em Ørsted (1986). O fluxo de eletricidade positiva está em azul e o fluxo de eletricidade negativa está em vermelho. O fluxo de A para B indica o sentido convencional da corrente em ambos os casos. Fonte: Elaborado pelos autores.

Em uma obra posterior intitulada *The Soul in Nature*, de 1821, no capítulo *Note on the Discovery of Electromagnetism*, reproduzido em Ørsted apresenta mais detalhes sobre sua interpretação do experimento. Enquanto no texto original há apenas menções pontuais à relação entre luz, calor e eletricidade — como a afirmação de que o fio condutor deveria estar incandescente para que os efeitos fossem observados (Ørsted, 1986) —, nesta nova publicação, ele aprofunda sua concepção da união entre esses fenômenos. Essa perspectiva é recorrente tanto em seus trabalhos experimentais quanto em seus escritos filosóficos (Ørsted et al., 1852), como se observa na seguinte passagem:

Calor e luz são gerados pelas mesmas forças e pelo mesmo procedimento que o [fenômeno do] eletromagnetismo, mas uma quantidade maior de forças ativas e maior rapidez na interação entre elas são necessárias para isto. O calor é produzido somente quando o condutor recebe tanta eletricidade que ele pode somente conduzi-la para fora bem inadequadamente (Ørsted et al., 1998, p. 429, tradução nossa).⁹

Durante uma apresentação na *Société d’Arcueil*, em que discorre sobre inconsistências no trabalho de Ampère, Ørsted associa a união entre eletricidade e magnetismo ao conceito de ondulações no éter luminífero — um fluido imponderável e invisível, amplamente discutido em seu tempo, que se afirmava ser o meio de propagação da luz. Em *A New Electromagnetic Experiment Disproving Ampere’s Theory*, de 1830, ele afirma:

Finalmente ele [Ørsted] mostrou que, se fosse necessário aceitar luz e calor como oscilações no éter, era impossível evitar considerar também a eletricidade e o magnetismo como oscilações [no éter], mas que a diferença entre os efeitos elétricos e magnéticos não estaria

9 No original, “Heat and light are generated by the same forces and by the same procedure as electromagnetism, but a larger quantity of active forces and greater rapidity in the interaction between them are required for this. Heat is produced only when the conductor has received so much electricity that it can only conduct it away very inadequately.” (Ørsted et al., 1998, p. 429)

somente na frequência das oscilações, mas que uma diferença essencial deveria existir na natureza das oscilações. (Ørsted et al., 1998, p. 541, tradução nossa).¹⁰

A análise dos escritos de Ørsted revela uma concepção filosófica subjacente que busca unificar os fenômenos da natureza e descrever uma inter-relação entre eles. Essa concepção, denominada *Naturphilosophie*, exerceu profunda influência sobre o trabalho de Ørsted e está presente na interpretação do episódio que ficou conhecido como “descoberta do eletromagnetismo”.

Ao avaliarmos essa interpretação na perspectiva fleckiana, podemos retomar a diferenciação entre experimento e experiência, que mais adiante será útil também à análise de outras interpretações do experimento. Enquanto o experimento de Ørsted por si só não define o “fato” que afirma a existência de uma unificação entre eletricidade e magnetismo, a experiência do filósofo natural, que inclui suas suposições, observações e demais vivências, constitui um caminho coeso para construção desse mesmo “fato”. A *Naturphilosophie* torna-se o motor central dessa construção, sendo a corrente filosófica de maior influência em seu trabalho, que exerce a coerção do estilo de pensamento, como veremos adiante.

4.4 A *Naturphilosophie* e o trabalho de Ørsted

Ørsted dispunha de bases teóricas que o levavam a supor uma origem comum para os fenômenos elétricos e magnéticos, apesar de suas manifestações distintas. Essas ideias parecem ter se consolidado a partir de sua interlocução com a *Naturphilosophie* de Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775–1854), bem como de sua leitura atenta dos trabalhos do cientista alemão Johann Wilhelm Ritter (1776–1810), como indicam Cunningham e Jardine (1990). Tanto Schelling quanto Ritter partilhavam a noção de que, na natureza, haveria uma relação de “união” e “polaridade” entre os fenômenos naturais e que uma força natural unificada com caráter polar, ou seja, cuja existência dependia de um par de efeitos opostos, como “atração e repulsão” ou “positivo e negativo”, poderia ser verificada em diversos conjuntos de fenômenos, tais como os fenômenos elétricos e magnéticos (Martins, 2007). Contudo, Ritter atribuía à experimentação empírica um papel fundamental em sua abordagem científica (Buttner, 2003), e este aspecto de seu trabalho exerceu influência significativa sobre Ørsted.

Em sua obra *A Alma da Natureza* (Ørsted; Horner; Horner, 1852), o filósofo natural dinamarquês apresenta algumas de suas concepções filosóficas. Este trabalho, de cunho filosófico e ainda pouco explorado pela literatura especializada (Martins, 1986), evidencia o contato profícuo de

10 No original, “Finally he [Ørsted] showed that, if it was necessary to accept light and heat as oscillations in the ether, it was impossible to avoid also considering electricity and magnetism as oscillations, but that the difference between the electric and the magnetic effects could not lie in the frequency of oscillations alone, but that an essential difference had to exist in the nature of the oscillations.” (Ørsted et al., 1998, p. 541)

Ørsted com a comunidade científica de seu tempo e seu esforço contínuo em se manter atualizado sobre as publicações mais recentes, registrando suas impressões e alinhando-as à corrente filosófica da qual era um “adepto crítico”, a *Naturphilosophie* de Schelling.

No capítulo intitulado *The Essential Unity of Intelligence throughout the Universe*, Ørsted sustenta que a natureza é regida por uma multiplicidade de leis que se aplicam não apenas ao mundo humano, mas também aos demais corpos celestes do Universo. Essas leis, segundo ele, poderiam ser igualmente deduzidas em outras regiões do cosmos por estudiosos devidamente capacitados. Além disso, Ørsted argumenta que, mesmo em nosso próprio mundo, existem indícios de uma unidade subjacente na natureza, expressa pelas simetrias dos fenômenos e suas inter-relações. Defende que as relações perceptíveis pelos sentidos humanos oferecem indícios de que a natureza é regida por princípios internos, exemplificados pelas interações entre luz, calor e o éter luminífero. Essa concepção é ilustrada na passagem a seguir:

Podemos aprender com a teoria da luz que é possível que existam grandes variedades no sentido da visão. Ela nos mostra, especificamente, que a luz é produzida por vibrações no éter. Só recebemos impressões reais de luz quando a amplitude dessas ondas de éter está entre 300 e 175 milionésimos de uma linha, e apenas uma pequena impressão de ondas que estão abaixo ou acima desta proporção. As ondas do éter, que são muito lentas para nosso sentido da visão — isto é, as ondas que têm maior amplitude — produzem uma sensação de calor; as mais rápidas se manifestam por efeitos químicos.¹¹(Ørsted, 1852, p. 100, tradução nossa)

Em 1800, o astrônomo alemão Frederick William Herschel (1738–1822), então residente na Inglaterra, identificou, durante uma série de experimentos voltados à criação de um filtro para observação solar segura, um fenômeno térmico que denominou “calor radiante” (White, 2017), hoje conhecido como radiação infravermelha. No ano seguinte, guiado pela *Naturphilosophie*, Johann Wilhelm Ritter questionou a possibilidade da existência de um fenômeno análogo além do violeta no espectro luminoso. Ritter constatou, por exemplo, que “existem raios invisíveis que escurecem o cloreto de prata de forma ainda mais eficiente do que a luz visível” (Frercks; Weber; Wiesenfeldt, 2009, p. 143). Hoje, tais radiações são conhecidas como ultravioleta, cuja manifestação se dá por meio de efeitos fotoquímicos.

Segundo a concepção filosófica que norteava os estudos de Ørsted, os fenômenos naturais estão profundamente interligados, inclusive entre domínios aparentemente desconectados, formando o que denominava “unificação orgânica”. Como exemplo, o físico dinamarquês investigou

11 No original, “We may learn from the theory of light, that great varieties may possibly exist in the sense of sight. It shows us, namely, that light is produced by vibrations in ether. We only receive actual impressions of light when the breadth of these waves of ether are between the 300 and 175 millionth part of a line, and but little impression from such as are below, or above this proportion. Those waves of ether, which are too slow for our sense of sight — that is, those waves which are of a greater breadth — produce a sensation of heat; the quicker ones manifest themselves by chemical effects”.

sistematicamente as relações entre a química e os fenômenos magnéticos, frisando que a “teoria da luz” de Ritter (Ørsted, 1852) já apresentava as relações entre luz, calor e reações químicas associadas ao éter, evocando novamente os pressupostos teóricos da corrente filosófica de Schelling.

Em suas obras, Ørsted buscou integrar diversos fenômenos — entre eles, calor, eletricidade e magnetismo — em um modelo coeso que expressasse a inter-relação dos elementos do Universo, revelando a influência da *Naturphilosophie*. Conforme argumenta Martins (2007), o entendimento de Ørsted sobre os estudos de magnetoquímica conduzidos por Ritter indicava uma correlação entre química, eletricidade e magnetismo, ainda que considerasse os primeiros resultados desses estudos de valor limitado. Ritter, fortemente influenciado pela filosofia natural de Schelling, defendia a complementaridade entre os elementos naturais. Sua pesquisa sobre a radiação ultravioleta invisível, destacada em *A Review of the Latest Advances in Physics* (Ørsted et al., 1998), teve pouca repercussão entre os adeptos dessa corrente filosófica (Frercks; Weber; Wiesenfeldt, 2009).

O próprio manuscrito original de Ørsted, no qual propõe a relação entre eletricidade em movimento (galvanismo) e magnetismo, apresenta um título sugestivo (Cunningham & Jardine, 1990). A expressão “conflito elétrico” denota uma influência externa na interpretação do fenômeno, contrastando com as concepções predominantes sobre os efeitos elétricos à época — algo que possivelmente se deveu ao contato com Ritter e sua aproximação com a *Naturphilosophie*.

Além de Ritter, Ørsted teve contato com outros pensadores durante sua estada de seis meses em Berlim. Nesse período, além de estudar física e química, assistiu a palestras de Johann Gottlieb Fichte — filósofo idealista influenciado por Immanuel Kant (1724–1804) — e dos irmãos Schlegel, vinculados ao romantismo da escola de Jena. Também conheceu Franz von Baader, filósofo e teólogo, e estudou intensamente, embora com espírito crítico, os textos de Schelling. Em Paris, em 1802, encontrou respaldo prático para suas reflexões filosóficas ao observar o uso sistemático de experimentos na investigação científica, o que lhe causou forte impressão (Cunningham & Jardine, 1990).

A distinção fundamental entre Ørsted e outros simpatizantes da *Naturphilosophie* reside em sua persistência em testar experimentalmente a ideia de uma “unificação orgânica” da natureza. Essa postura revela o valor pessoal atribuído ao experimento que viria a consagrá-lo. Tal visão acerca da unidade dos fenômenos e da racionalidade imanente às leis naturais é reiterada em escritos posteriores:

As leis da natureza no mundo material são leis da razão, revelações de uma vontade racional; mas quando consideramos toda a natureza material como o trabalho constante da

razão eterna, nossa contemplação não pode permanecer nesse ponto, mas nos leva, pelo pensamento, a ver as leis da natureza universal. Em outras palavras, a alma e a natureza são uma só, vistas de dois lados diferentes: assim, deixamos de nos maravilhar com sua harmonia.¹²(Ørsted, 1852, p. 384, tradução nossa)

Atribuir à *Naturphilosophie* um papel central na interpretação que Ørsted oferece de seu experimento permite refletir sobre o papel do acaso em sua “descoberta”, como propõe Kipnis (2005), à luz de uma epistemologia que considere os efeitos dos diferentes estilos de pensamento.

A interpretação do experimento da agulha magnética produzido por Ørsted apresenta, desde sua primeira publicação sobre ele em 1820, diversas concepções que parecem derivar de sua proximidade com a *Naturphilosophie* conforme apresentada por Schelling. Utilizando o conceito fleckiano de “círculo exotérico” dentro de um estilo de pensamento permeado pela *Naturphilosophie*, é possível iniciar a delimitação de um círculo exotérico com estes personagens juntamente a outros filósofos naturais, como Ritter, que defendiam a “força primordial” de unificação dos fenômenos da natureza como discutido originalmente por Kant. Todos os membros desse círculo exotérico compartilhavam da noção de que calor, luz, magnetismo e eletricidade estariam profundamente conectados e sempre deveriam coexistir nos fenômenos, haja vista a interpretação que Ørsted fornece para o desvio da agulha magnética em função, por exemplo, do aquecimento do fio condutor (Ørsted, 1986).

12 No original, “The laws of nature in the material world, are laws of reason, revelations of a rational will; but when we thus consider all material nature, as the constant work of eternal reason, our contemplation cannot remain at this point, but leads us by thought to view the laws of the universal nature. In other words, soul and nature are one, seen from two different sides : thus we cease to wonder at their harmony.” (Ørsted et al., 1852, p. 382)

5. AS INTERPRETAÇÕES DE AMPÈRE, FARADAY, BIOT E SAVART

A partir da divulgação inicial de seu experimento, Ørsted foi colocado em evidência pela comunidade científica de seu tempo e alguns de seus contemporâneos produziram interpretações fundamentalmente distintas daquela produzida por ele. Faremos uma breve revisão das ideias formuladas por André-Marie Ampère (1775 – 1836), Michael Faraday (1791 – 1867) e da dupla Jean-Baptiste Biot (1774 – 1862) e Félix Savart (1791 – 1841).

5.1 Ampère e o pensamento newtoniano

André-Marie Ampère, ao tomar conhecimento do experimento da agulha magnética realizado por Ørsted e da interpretação subsequente por ele apresentada, propôs uma explicação substancialmente distinta da oferecida pelo filósofo natural dinamarquês. Para Ampère, a ação da corrente elétrica sobre a agulha magnetizada deveria ser explicada exclusivamente pela interação entre “elementos de correntes elétricas microscópicas”. Para compreender essa abordagem, é necessário considerar o percurso intelectual trilhado por Ampère até a formulação de sua teoria.

Conforme apresentam Chaib e Assis (2007), Ampère distingue inicialmente dois efeitos associados à ação eletromotriz: a *tensão elétrica*, produto da separação de corpos conectados apenas por pontos de contato únicos — situação que ocorre, por exemplo, em reações químicas como nas pilhas de Volta ou por meio de ação contínua como a fricção (gerando a chamada tensão eletrostática); e a *corrente elétrica*, que se manifesta quando os corpos podem se comunicar, permitindo que a ação se distribua por diferentes pontos do circuito. Esta última, além de promover fenômenos como a decomposição da água, é também a responsável pela atração de corpos leves e pela deflexão da agulha magnética descrita por Ørsted. Ainda segundo Ampère, há dois fluxos de correntes elétricas nos condutores: um de eletricidade positiva e outro de eletricidade negativa.

Com base no experimento de Ørsted, Ampère propôs uma série de variações experimentais. Em uma delas, posicionou duas agulhas magnetizadas em diferentes locais ao redor de um fio condutor conectado a uma pilha de Volta, investigando como a variação na posição influenciava os desvios observados. A partir dessa investigação, ele passou a empregar o desvio da agulha como medida indireta da presença de corrente elétrica em outros condutores. Essa abordagem levou à invenção do galvanômetro, um instrumento capaz de detectar correntes elétricas a partir da deflexão de uma agulha em diferentes configurações de circuito.

Ampère observou, por exemplo, que uma mesma corrente podia provocar deflexões distintas em pontos diferentes de um mesmo circuito, conforme ilustra o seguinte trecho:

Ao se conceber, além disso, que as atrações e repulsões das correntes elétricas ocorrem em todos os pontos do circuito, é possível, com apenas um condutor fixo, atrair e repelir tantos condutores quantos se queira, e fazer variar a direção de tantas agulhas imantadas quantas se queira. Proponho-me a construir dois condutores móveis sob um mesmo recipiente de vidro, de forma que, ao se tornarem, juntamente com um condutor fixo comum, parte de um mesmo circuito, os condutores móveis sejam alternadamente os dois atraídos, os dois repelidos, ou um atraído e o outro repelido ao mesmo tempo, de acordo com a maneira com a qual estabelecemos os contatos. (Chaib; Assis, 2007, p. 99)

A partir desses experimentos, Ampère ampliou sua investigação, passando a estudar não apenas os efeitos das correntes elétricas sobre condutores, mas também sobre ímãs permanentes. Em sua formulação teórica, passou a conceber o ímã como um conjunto de correntes elétricas microscópicas, dispostas em planos perpendiculares à linha que une seus polos magnéticos (Chaib; Assis, 2009, p. 121). Assim, iniciou uma série de experimentos com fios condutores e ímãs permanentes, investigando também os efeitos do magnetismo terrestre.

Para isolar a ação da corrente elétrica da influência do campo magnético da Terra, algo que não realizado no experimento original de Ørsted, Ampère desenvolveu a chamada “agulha imantada astática”. Esse dispositivo consistia em dois ímãs com polaridades opostas montados de modo a anularem seus campos mutuamente, eliminando o efeito do campo geomagnético. Como ilustrado na Figura 8, essa configuração permitiu verificar que, ao se neutralizar a ação magnética terrestre, a agulha se alinha perpendicularmente ao fio condutor, o que se apresenta como uma evidência que contradizia os resultados observados por Ørsted em sua configuração experimental inicial (Chaib; Assis, 2009).

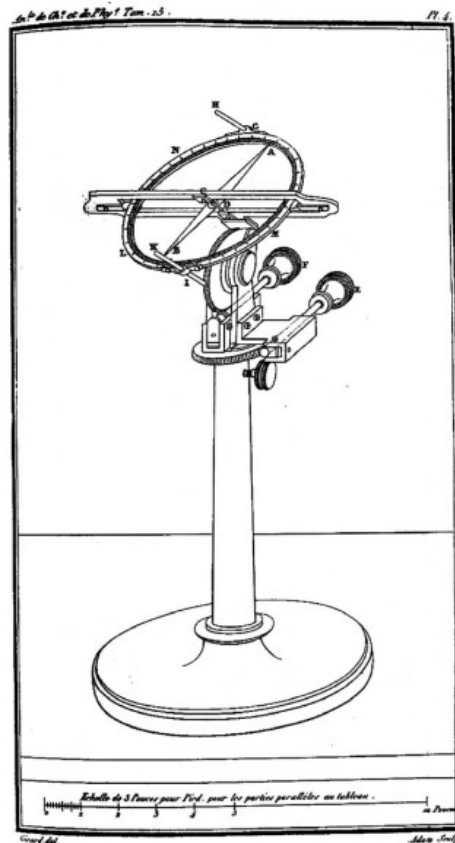


Figura 8: Agulha Imantada Astática de Ampère. Fonte: (Chaib; Assis, 2009, p. 134)

A própria criação desta agulha astática é um indício da explicação que Ampère produziria no seu experimento mais notável em resposta ao experimento de Ørsted: se os ímãs possuem correntes microscópicas que geram os efeitos magnéticos, então correntes elétricas de circuitos distintos também poderiam gerar efeitos magnéticos. Ao experimentar a interação magnética entre duas espiras condutoras com distância variável, como representado na Figura 6, Ampère verificou que as leis de atração e repulsão que havia verificado para a ação entre ímãs se mantinham corretas. Sua quarta conclusão a partir das suas observações foi que

Todos os fenômenos que apresentam a ação mútua entre uma corrente elétrica e um ímã, descobertos pelo Sr. Oersted, que analisei e reduzi a dois fatos gerais em uma Memória precedente [...] seguem da lei de atração e repulsão de duas correntes elétricas, tal como ela acaba de ser enunciada, admitindo que um ímã é apenas um conjunto de correntes elétricas que são produzidas por uma ação das partículas do aço umas sobre as outras – de forma análoga à [ação] dos elementos de uma pilha voltaica – e que ocorrem em planos perpendiculares à linha que liga os dois polos do ímã. (Chaib; Assis, 2009, p. 138)

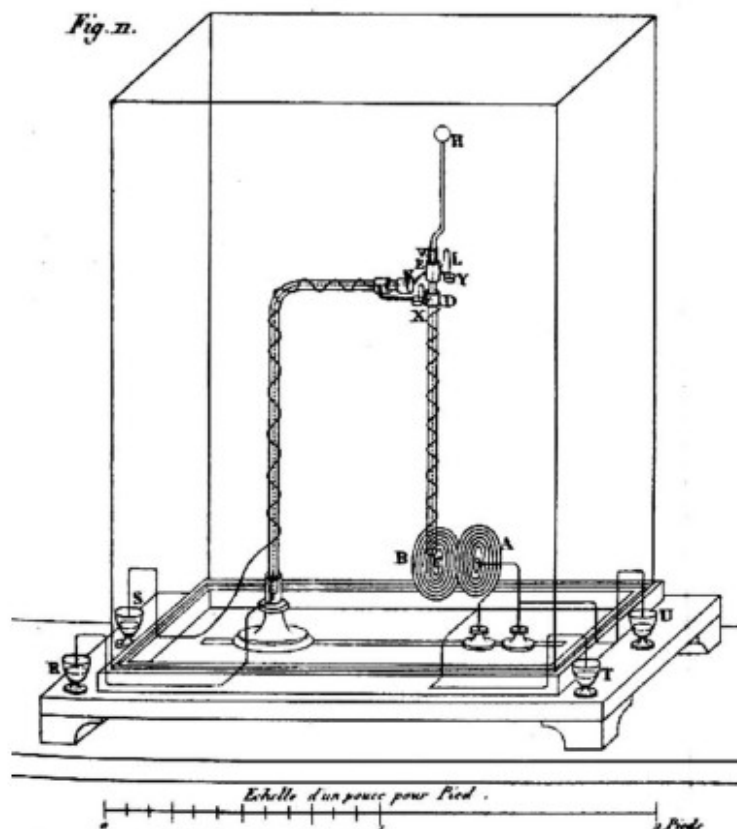


Figura 6: Representação da primeira observação da atração e repulsão entre espirais condutoras de corrente, realizada por Ampère. A espiral A está fixa e a espiral B possui distância ajustável. Fonte: (Assis; Chaib, 2011, p. 60)

Ao interpretar seus resultados, Ampère apresenta sua concepção fundamentalmente diferente daquela apresentada por Ørsted. O filósofo natural francês propõe que

[...] Imagine tantas correntes elétricas na superfície e no interior de um ímã quantas forem as linhas que formam curvas fechadas sem se cortarem umas às outras em planos perpendiculares ao eixo do ímã. Parece-me quase impossível [...] duvidar que existam realmente essas correntes em torno do eixo dos ímãs, ou melhor, que a magnetização consista apenas na operação pela qual se dá às partículas de aço a capacidade de produzir, por meio das correntes de que falamos, a mesma ação eletromotriz que se encontra na pilha voltaica, no óxido de zinco dos mineralogistas, na turmalina aquecida e até mesmo na pilha formada por papelão umedecido e discos de um único metal em duas temperaturas diferentes. No caso do ímã, essa ação eletromotriz sendo desenvolvida entre as diferentes partículas de um único corpo bom condutor, ela nunca pode, como mostramos acima, produzir qualquer tensão elétrica, mas apenas uma corrente contínua semelhante à de uma pilha voltaica construída na forma de uma curva fechada... É assim que se chega à inesperada conclusão de que os fenômenos associados ao ímã são produzidos exclusivamente pela eletricidade e que não há outra diferença entre os polos de um ímã a não ser sua posição em relação às correntes das quais o ímã é composto [...].¹³ (Ampère apud Williams, 1962, p. 119, tradução nossa).

13 No original: “[...] Picture as many electrical currents on the surface and in the interior of a magnet as one can think of lines forming closed curves without cutting one another in planes perpendicular to the axis of the magnet. It seems to me almost impossible [...] to doubt that there are really such currents around the axis of magnets, or rather that magnetization only consists in the operation by which one gives to the particles of steel the ability to produce, through the means of the currents of which we have been speaking, the same electromotive action which is found in the voltaic pile, in the zinc oxide of the mineralogists, in the heated tourmaline, and even in the pile formed of dampened cardboard and discs of a single metal at two different temperatures. In the case of the magnet, this

Com seus experimentos, Ampère elaborou uma interpretação que divergia não apenas daquela proposta por Ørsted, mas também das formulações de outros cientistas de sua época. A influência do chamado “pensamento newtoniano”, como aponta Williams (1962), sobre as ideias de Ampère e de Coulomb é perceptível em diversos aspectos de sua abordagem, especialmente na busca por uma relação quantitativa entre fenômenos elétricos e magnéticos. Essa influência se manifesta, por exemplo, na preocupação em verificar a intensidade da ação à distância durante seus experimentos com espiras condutoras, inspirando-se no modelo da Lei da Gravitação Universal de Newton, segundo a qual a força varia de maneira inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Além disso, Ampère adotou a ideia de múltiplas entidades hipotéticas para explicar os fenômenos físicos, como os chamados fluidos magnéticos e elétricos. Estes, por sua vez, eram subdivididos em fluidos “austral” e “boreal” (no caso do magnetismo) e em fluidos “positivo” e “negativo” (no caso da eletricidade), com o objetivo de justificar os efeitos de atração e repulsão que investigava. Enquanto Ørsted via o conflito entre os fluidos como algo natural e coerente com sua concepção unificadora dos fenômenos, moldada por sua adesão crítica à *Naturphilosophie*, Ampère concentrava-se na quantificação dessas interações, colocando as forças de atração e repulsão entre os fluidos no centro de sua explicação.

Para fins de comparação, cabe aqui ressaltar que a visão de unificação dos fenômenos que os adeptos da *Naturphilosophie* defendiam não era estranha a Ampère. O filósofo natural francês também visava uma ligação entre eletricidade e magnetismo em seus experimentos e divulgações de resultados: enquanto Ørsted via uma correlação entre vários tipos de fenômenos, Ampère via uma dependência fundamental do magnetismo nas correntes elétricas. As correntes microscópicas presentes nos ímãs permanentes e nos fios condutores, que deveriam interagir nos mesmos termos do seu experimento com as espirais condutoras (Chaib; Assis, 2009) seriam a causa última do magnetismo terrestre e todos os fenômenos que envolviam os ímãs. Tanto Ørsted quanto Ampère defendiam a existência de dois “fluidos” elétricos, todavia Ørsted se ocupou de explicar seu experimento em termos de um conflito elétrico desses fluidos, enquanto Ampère se ocupou de matematizá-los e experimentá-los nos termos newtonianos de ação a distância. Logo, propõem-se que Ampère e Coulomb, que influenciou seus trabalhos, devem compor um outro círculo exotérico

electromotive action being developed between the different particles of a single good conducting body, it can never, as we have shown above, produce any electrical tension, but only a continuous current similar to that of a voltaic pile built in the form of a closed curve... Thus it is that one arrives at the unexpected conclusion, that the phenomena associated with the magnet are produced uniquely by electricity and that there is no other difference between the poles of a magnet than their position in regard to the currents of which the magnet is composed. [...]” (Ampère apud Williams, 1962, p. 119)

diferente do ocupado pelos membros da *Naturphilosophie* ou, ao menos, devem delimitar um matiz de estilo de pensamento diferente, que não se equipara aos matizes dos demais filósofos naturais de seu tempo.

Como será discutido mais adiante, embora Ampère compartilhasse o cenário científico com outros filósofos naturais, como Jean-Baptiste Biot e Félix Savart, foram estes últimos os que mais fortemente se alinharam ao Programa de Pesquisa Laplaciano, proposto por Pierre-Simon Laplace (1749–1827). Em decorrência disso, Biot e Savart ofereceram uma explicação distinta para os fenômenos observados no experimento da agulha magnética, consolidando uma linha teórica alternativa àquela desenvolvida por Ampère.

5.2 Biot, Savart e o Programa de Pesquisa Laplaciano

Jean-Baptiste Biot e Félix Savart, embora contemporâneos e conterrâneos de Ampère, formularam uma explicação distinta daquelas propostas anteriormente. Ao tomarem conhecimento dos resultados obtidos por Ørsted com a deflexão da agulha magnética provocada por um fio condutor percorrido por corrente elétrica, os dois filósofos naturais franceses realizaram experimentos com o objetivo de verificar e aprofundar os fenômenos observados pelo cientista dinamarquês.

Utilizando uma pilha de calha — uma variante da pilha original concebida por Volta — e uma série de fios de aço temperado magnetizados pelo método do duplo contato (isto é, pelo atrito simultâneo da agulha com dois ímãs), Biot e Savart suspenderam agulhas magnéticas ao redor de um fio condutor. O objetivo era observar os efeitos da corrente elétrica sobre essas agulhas em diferentes posições, analisando seus equilíbrios e os efeitos concorrentes do magnetismo terrestre (Chaib; Assis, 2006). Em *Nota sobre o Magnetismo da Pilha de Volta*¹⁴, os franceses afirmam que

Com o auxílio destes procedimentos os Srs. Biot e Savart foram conduzidos ao resultado seguinte que exprime rigorosamente a ação experimentada por uma **molécula de magnetismo austral ou boreal** colocada a uma distância qualquer de um fio cilíndrico muito fino e indefinido, tornado magnético pela corrente voltaica. Trace uma perpendicular ao eixo do fio pelo ponto onde se localiza esta molécula. A força que atua sobre a molécula é perpendicular a esta linha e ao eixo do fio. **Sua intensidade é inversamente proporcional à distância.** A natureza de sua ação é a mesma que a ação de uma agulha imantada que fosse colocada sobre o contorno do fio em um sentido determinado e sempre constante em relação à direção da corrente voltaica; de tal maneira que uma molécula de magnetismo boreal e uma molécula de magnetismo austral seriam assim solicitadas em sentidos contrários, embora sempre seguindo a mesma [linha] reta determinada pela construção precedente. (Chaib e Assis, 2006, p. 308, grifos nossos)

As chamadas “moléculas de magnetismo austral e boreal” correspondem, grosso modo, ao que hoje entendemos como os polos sul e norte de ímãs permanentes. Segundo essa concepção, a

14 No original, *Note sur le Magnétisme de la pile de Volta*

ação magnética observada no experimento de Ørsted seria causada não diretamente pelo fio condutor, mas sim pela atuação deste sobre as “moléculas de magnetismo” presentes nos corpos, que formariam pequenos dipolos magnéticos semelhantes a um ímã permanente ao seu redor e que interagiriam por ação a distância e ao longo de linhas retas.

A explicação formulada por Biot e Savart, portanto, difere substancialmente daquela de Ørsted, pois não considera o caráter rotacional da força, mas sim a perpendicularidade da ação e sua dependência com o inverso da distância. Devido a essa aproximação conceitual com o pensamento newtoniano, Biot e Savart buscaram matematizar o fenômeno segundo os moldes estabelecidos por Newton no *Principia* e no *Opticks*¹⁵, como também o fez Ampère. Tal abordagem está diretamente ligada à forte influência do *Programa de Pesquisa Laplaciano*, do qual Biot era um dos participantes mais ativos, e essa influência diferencia o trabalho de Biot e Savart do trabalho de Ampère na medida em que a matematização dos fenômenos de acordo com o Programa Laplaciano busca associar o éter luminífero imponderável com a matéria ponderável, como discutiremos a seguir.

Como explorado por Gardelli (2018), o Programa de Pesquisa Laplaciano foi desenvolvido no contexto da chamada *Société d'Arcueil*, um grupo de filósofos naturais formado, entre outros, por Pierre-Simon Laplace, Jean-Baptiste Biot, Joseph Louis Gay-Lussac, Siméon Denis Poisson, Alexander von Humboldt e Dominique François Arago. Entre os anos de 1806 e 1822, esses cientistas se reuniam regularmente nas casas de campo do químico Claude Louis Berthollet e do próprio Laplace, no vilarejo de Arcueil, com o objetivo de estudar, estender e matematizar os princípios newtonianos, aplicando-os à explicação e previsão de fenômenos naturais até então compreendidos de forma predominantemente qualitativa.

Esse Programa se diferencia do pensamento newtoniano na medida em que sua matematização com foco nas interações entre corpos de matéria ponderável com os fluidos imponderáveis se torna o centro de seus estudos, sendo o seu próprio conceito de força derivado do *Principia* de Newton. Este conceito é moldado pela matemática dos laplacianos e, segundo Fox (1996),

As forças eram concebidas como sendo exercidas por e sobre tanto a matéria imponderável quanto a matéria ponderável comum; de fato, um elemento essencial e altamente característico da física laplaciana era o **sistema de fluidos imponderáveis de calor, luz, eletricidade e magnetismo**. [...] Nas mãos dos laplacianos, modelos desses fluidos — baseados na suposição de que as forças entre a matéria imponderável e a ponderável atuavam apenas a distâncias ‘insensivelmente pequenas’ — podiam ser traduzidos em

15 No original, *Opticks: or, A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*

sistemas de equações diferenciais cujas soluções aproximadas eram capazes de ‘salvar’ os fenômenos já conhecidos e até mesmo predizer novos.¹⁶ (Fox, 1996, p. 279, grifo nosso)

Cabe aqui ressaltar que mesmo que a explicação dos laplacianos e a explicação de Ampère possuam influência do pensamento newtoniano, a explicação pautada nas “moléculas de magnetismo” que dependiam do “sistema de fluidos imponderáveis” para sua interação se diferencia pela persistência na racionalidade matemática: enquanto Ampère pauta sua explicação na experimentação, Biot e Savart dão enfoque ao seu modelo matemático preditivo, que sofre adaptações constantes em publicações posteriores.¹⁷

Faz-se importante frisar também que a interpretação produzida por estes dois laplacianos sofre algumas objeções dos demais filósofos naturais de seu tempo, especialmente a partir do conflito entre o seu modelo e o modelo de Ampère (Fox, 1996). A ação a distância newtoniana, que serve de inspiração ao Programa de Pesquisa Laplaciano, toma outra forma nas mãos de Biot e Savart. Enquanto Ampère reduziu os efeitos do eletromagnetismo às ação entre correntes elétricas, seus contemporâneos reduziram os mesmos efeitos a uma relação puramente magnética. Como exposto anteriormente, todo material possuiria “pequenos elementos”, as moléculas de magnetismo, que quando organizadas por métodos específicos, como o duplo contato ou a própria condução elétrica de fios condutores, causariam fenômenos magnéticos (Chaib; Assis, 2006).

Nesses termos, ao matematizarem o fenômeno utilizando-se de forças perpendiculares que agiam sobre as moléculas dos fluidos imponderáveis dos laplacianos, Biot e Savart contornam o caráter rotacional que tanto intrigou Ørsted inicialmente. Isso explicita a diferença do Programa de Pesquisa Laplaciano com o Newtonianismo de Ampère: enquanto a matematização era prioritária para a primeira corrente filosófica, ela poderia sofrer o escrutínio da experimentação pela segunda corrente. Mais ainda, é importante frisar que este momento histórico em que as interpretações dos laplacianos e de Ampère se encontraram não foi necessariamente amistoso. Caneva (1980) produziu uma revisão extensa dos elementos que afetaram o pensamento de Ampère após a proposição de seu modelo dos elementos microscópicos de corrente, principalmente diante do Programa de Pesquisa Laplaciano, e o autor afirma que

16 No original, “The forces were conceived as being exerted by and upon imponderable as well as ordinary ponderable matter; in fact, an essential and highly characteristic element in Laplacian physics was the system of imponderable fluids of heat, light, electricity, and magnetism. [...] In the hands of the Laplacians, models of such fluids, founded on the assumption that the forces between imponderable and ponderable matter were effective only over ‘insensibly small’ distances, were capable of being translated into systems of differential equations whose approximate solutions could ‘save’ the phenomena already known and even predict new ones.” (Fox, 1996, p. 279)

17 No texto *Sur L’Aimantation imprimée aux métaux par l’électricité em mouvement*, publicado no livro *Précis élémentaire de Physique expérimentale* (1821) aprofundam o modelo de Biot e Savart, todavia estenderiam em demasiado as discussões do presente trabalho. Para uma discussão mais aprofundada do tratamento matemático proposto por estes filósofos naturais franceses, ver Gardelli (2014).

[...] Para começar, o trabalho de Ampère não foi bem recebido por seus contemporâneos. De fato, **os que se mostraram mais frios estavam entre aqueles que, teoricamente, deveriam ter sido os mais receptivos, caso a aceitação de uma teoria dependesse unicamente de seu sucesso matemático-descritivo.** As três figuras mais proeminentes do estilo de física dominante na França durante as duas primeiras décadas do século XIX — Laplace, Biot e Poisson — foram ou hostis ou silenciosos. Muitos dos que acolheram o trabalho de Ampère o fizeram porque compartilhavam de sua visão física de mundo, e não por estarem impressionados com o sucesso de suas teorias do eletromagnetismo e do magnetismo.¹⁸ (Caneva, 1980, p. 121, grifo nosso)

De fato, houve um movimento dentro da filosofia natural francesa envolvendo a figura de Ampère e de outro contemporâneo, Augustin Jean Fresnel (1788-1827), que pode ser delimitado como “anti-laplaciano eteriano”, ou seja, que divergia fundamentalmente das ideias defendidas pela Sociedade de Arcueil e que dava grande enfoque ao éter luminífero como intermediador central dos mais diversos fenômenos (Caneva, 1980). Infelizmente, aprofundar extensivamente esta relação foge do escopo deste trabalho, mas acreditamos que o que foi apresentado até o presente momento seja suficiente para diferenciar o Newtonianismo de Ampère e o Programa Laplaciano de Biot e Savart a fim de produzir uma interpretação mais ampla do episódio histórico em questão.

A partir da análise supracitada, acreditamos que tanto Ampère quanto Biot e Savart se encaixam em um mesmo coletivo, fundamentado na matematização dos fenômenos, mas que se diferenciam na medida em que o modelo matemático descritivo de cada uma das explicações produzidas se baseiam em “entidades” diferentes. Isso nos permite afirmar que os franceses se diferenciam apenas no *matiz* do estilo de pensamento, ocupando um mesmo coletivo que *conflui* na resolução de um único problema com métodos ligeiramente distintos, como Fleck exemplifica na comparação entre as corporações de ofício:

A cada estilo de pensamento correm, paralelamente, seus efeitos práticos, isto é, a aplicação. Qualquer pensamento é aplicável, uma vez que a convicção de que uma suposição procede ou não também exige uma atividade intelectual. **A comprovação da veracidade está, portanto, tão vinculada ao estilo de pensamento quanto à pressuposição.** A coerção de pensar, o hábito de pensar, ou pelo menos uma aversão pronunciada contra qualquer pensamento alheio ao estilo de pensamento vigiam a harmonia entre a aplicação e o estilo de pensamento. As corporações de ofício representam, de forma expressiva, comunidades voltadas para a prática; é instrutivo constatar como, de acordo com a atividade profissional, problemas práticos semelhantes são resolvidos de maneira diferente. Uma rachadura no revestimento, por exemplo, é algo bem diferente para um pintor e pedreiro. O pintor vê apenas os danos de superfície e os trata como tais; o pedreiro pensa no conjunto da parede e tende, também na prática, a intervir na profundidade da parte interna: **o aspecto estilístico do pensamento dos mesmos aparece em cada aplicação.** (Fleck, 2010, p. 156, grifos nossos)

18 No original, “[...] For one, Ampere’s work was not warmly received by his contemporaries. In fact, those who were the coldest were among those who should have been the warmest if the acceptability of a theory was simply a function of its mathematical-descriptive success. The three most prominent representatives of the style of physics which had been dominant in France during the first two decades of the nineteenth century, Laplace, Biot, and Poisson, were either hostile or silent. Many of those who did embrace Ampere’s work did so because they shared his physical worldview and not because they were impressed by the success of his theories of electrodynamics and magnetism.”(Caneva, 1980, p. 121)

Em uma análise fleckiana, Ampère e os laplacianos se ocupam do mesmo problema, como pintores e pedreiros, mas buscam solucioná-lo de formas distintas e, quando confrontam suas diferentes soluções, há uma discordância sobre sua efetividade em *circulações intracoletivas*, e isso, por fim, ajuda a definir o matiz de cada filósofo natural.

5.3 Faraday e o Empirismo

O britânico Michael Faraday, à primeira vista, parece não apresentar uma filiação filosófica explícita em seus trabalhos. No entanto, é possível identificar concepções fundamentais que permeiam sua abordagem experimental e teórica, especialmente a partir de sua resposta ao modelo interpretativo elaborado por André-Marie Ampère para o experimento de Ørsted.

O modelo das correntes microscópicas proposto por Ampère despertou uma série de objeções em Faraday, como destacado em

Aceitação da explicação de Ampère sobre o magnetismo [originário das microcorrentes moleculares] significaria também a aceitação de uma teoria compreensível da matéria e Faraday era muito cauteloso para fazer isso [de prontidão]. Havia, afinal, um número de elementos hipotéticos que Faraday achava difíceis de engolir. Haveria realmente um éter? Ele consistiria na combinação de eletricidades positivas e negativas? Fluidos não atraíam Faraday e essa área tão nova da química de fluido imponderável deve ter parecido particularmente desorganizada.¹⁹ (Williams, 1971, p. 151, tradução nossa)

Faraday não se dedicou de imediato ao estudo dos fenômenos eletromagnéticos recentemente descobertos. Contudo, ao ser convidado a escrever uma revisão histórica sobre os experimentos de seus contemporâneos, empreendeu uma reconstituição experimental cuidadosa das investigações de Ørsted, Ampère e outros (Williams, 1971). Em textos como *Panorama Histórico do Magnetismo, Sobre alguns novos Movimentos Eletromagnéticos e sobre a Teoria do Magnetismo*²⁰, Faraday delineia sua própria interpretação para o fenômeno observado por Ørsted, com base em uma sólida prática experimental.

Enquanto os filósofos naturais franceses favoreciam explicações fundamentadas em entidades microscópicas e modelos mecânicos hipotéticos, Faraday confrontava diretamente a natureza rotacional da força eletromagnética. Em vez de admitir a existência de elementos como microcorrentes ou fluidos elétricos positivos e negativos, propôs que, caso fosse possível isolar um

19 No original, “Acceptance of Ampere’s explanation of magnetism meant acceptance of a comprehensive theory of matter and this Faraday was too cautious to do. There were, after all, a number of hypothetical elements which Faraday found difficult to swallow. Was there really an ether ? Did it consist of a combination of positive and negative electricity ? Fluids did not appeal to Faraday and the whole new area of imponderable fluid chemistry must have seemed particularly clumsy.” (Williams, 1971, p. 151)

20 No original, *Historical Sketch of Magnetism, On some new Electro-Magnetical Motions, and on the Theory of Magnetism*, respectivamente. Este texto se encontra traduzido para o português em Gardelli (2014).

"monopolo" magnético, este não seria apenas orientado pelo fio condutor: ele descreveria um movimento circular ao redor deste.

No extenso artigo *Panorama Histórico do Magnetismo*, referido a partir daqui somente como *Panorama*, o filósofo natural britânico revisa os principais experimentos e explicações produzidas a partir do experimento de Ørsted. Em meio aos relatos experimentais, há certo fascínio de Faraday sobre um dos resultados de Sir Humphry Davy (1778-1829), a quem assistia em laboratório. A Figura 7 apresenta um esboço referente a experimentações de Davy sobre o que ocorria no entorno de fios condutores quando permeados por limalhas de ferro e agulhas não magnetizadas ao serem realizadas descargas elétricas. Foi proposto que haveria um “magnetismo circular”, conforme a figura, que magnetizaria materiais condutores perpendiculares ao fio quando a descarga elétrica fosse intensa o suficiente.

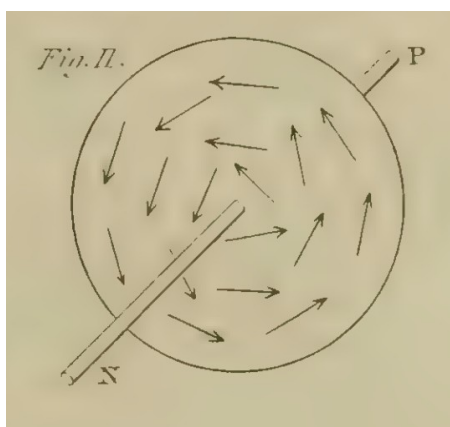


Figura 7: Diagrama representando a magnetização obtida por barras de aço distribuídas ao redor de um fio condutor em um dos experimentos que Faraday atribui a Sir Humphry Davy. As letras P e N representam, respectivamente, as extremidades positiva e negativa do fio condutor. Fonte: (Faraday, 1821, p. 199)

A partir do seu *Panorama*, Faraday (1822) inicia uma série de experimentos mantendo um ímã fixo e um fio condutor com certa mobilidade próximo a ele e produz o que pode ser entendido como o primeiro motor elétrico. A Figura 8 apresenta um diagrama que mostra um fio condutor suspenso sobre um frasco contendo mercúrio e um ímã permanente com um de seus polos imerso no metal líquido, isolando a ação magnética de um de seus polos. Para realizar a condução de corrente elétrica, ele conectou uma extremidade do fio na parte suspensa sobre o mercúrio e a outra extremidade no próprio mercúrio, observando algo que suspeitava desde o início do seu apanhado histórico: a força de atração que surgia entre o fio condutor e o ímã parecia se dever principalmente à formação de dipolos magnéticos, logo um polo isolado produziria um efeito até então desconhecido.

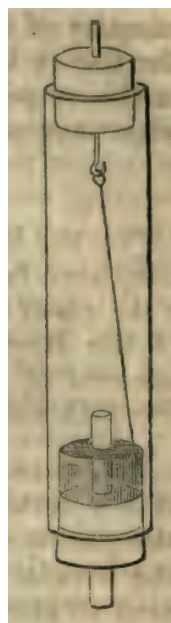


Figura 8: Diagrama de um fio condutor suspenso sobre um ímã permanente que possui um dos polos exposto ao ar e outro polo imerso em mercúrio. O fio completa um circuito com uma bateria (fora do diagrama) e uma conexão diretamente no mercúrio no fundo do frasco. Fonte: (Faraday, 1822, p. 118)

Neste experimento, Faraday foi capaz de observar que quando o fio condutor se aproxima do ímã, ele tem uma tendência natural em girar ao redor do polo exposto e não permanecer estático quando o circuito se encontra fechado. A força de atração observada possui explicações distintas para Ampère e para Faraday e isto diferencia a interpretação de ambos, como já discutido por Chaib e Assis (2007a): segundo Ampère, ela surgiria entre os elementos de corrente do ímã e da espira obedecendo à terceira lei de Newton (ação e reação) em sua forma forte, ou seja, na linha reta que une os elementos que interagem por meio desta força; segundo Faraday, bastaria que a força obedecesse à terceira lei na sua forma fraca, ou seja, que houvesse a formação de um sistema binário de atração entre os elementos, e isso explicaria o caráter rotacional da força observada originalmente por Ørsted e verificada nos experimentos subsequentes. Em suas palavras:

Ao se conduzir o pólo magnético do centro de movimento para a lateral do fio, não se observou nem atração nem repulsão; todavia, o fio procurava deslocar-se em um círculo, conservando ainda o pólo como centro, e isto tanto de um lado quanto de outro, segundo as circunstâncias [...] As agulhas não eram atraídas meramente pelo fio, mas, ao nele chegarem, continuavam a esforçar-se em seguir o curso na direção previamente iniciada; e, sendo o fio deslocado de um lado para o outro das mesmas, de modo a remover o impedimento mecânico que oferecia, prosseguiram no movimento inicial, como se fossem aparentemente repelidas: não se observou qualquer atração entre um pólo e um fio: todos

estes fenômenos são atribuíveis ao **movimento de revolução**.²¹ (Faraday, 1822, p. 118, tradução e grifo nosso)

Como afirmado anteriormente, Faraday não aparenta ter influências filosóficas claras nos escritos apresentados e não parece ter sistematizado sua visão filosófica como fez Ørsted, porém sua interpretação do experimento da agulha magnética como sendo o produto de um “movimento de revolução” contínuo do magnetismo ao redor do fio condutor deriva de uma série de uma grande revisão histórica dos experimentos envolvendo o eletromagnetismo e de um certo apreço pela construção de teorias baseadas em fatos. Esses aspectos, que caracterizam seu estilo de pensamento “empirista”, surgem em algumas de suas comunicações, como no caso de sua resposta a uma teoria de Ampère, descrita em:

Esse filósofo [Ampère] apresentou uma comunicação à Academia de Ciências de Paris em 18 de setembro, na qual propôs uma teoria que reduzia todos os fenômenos magnéticos a efeitos puramente elétricos, e, em diversos escritos subsequentes, aduziu novos argumentos, tanto experimentais quanto teóricos, em sua defesa. Desejo, entretanto, neste momento, antes **mencionar os fatos** tais quais foram descobertos, do que as teorias a eles associadas: em primeiro lugar, porque os fatos possuem a mais elevada importância; e, em segundo, porque assim não há risco de se atribuir teorias senão àqueles que verdadeiramente as conceberam.²² (Faraday, 1821, p. 276)

Faraday apresenta ao longo de seu *Panorama* uma visão empirista da ciência. A todo momento durante seu texto, ele busca validar as teorias de seus contemporâneos a partir dos “fatos” produzidos a partir da experimentação, mesmo sem apresentar alguma noção epistemológica bem definida do que considera ser um “fato”. Como já explorado por Williams (1989), Faraday se ocupou durante toda sua carreira em fazer valer uma certa máxima em todo seu percurso de construção do conhecimento, que poderia ser resumida como “a experimentação precede a hipótese”. Essa máxima tem relação direta com as ideias de Francis Bacon (1561 - 1626) do século XVIII, que não serão abordadas mais a fundo neste trabalho para evitar discussões mais longas. Não nos cabe, ao menos neste momento, pautar a firmeza desta máxima: tendo em vista o conceito de *protoideia*, é possível verificar que, em alguns casos, o caminho para produção científica não segue uma linearidade óbvia, e essa coerção do pensamento de Faraday provocada pelo seu apreço à

21 No original, “On bringing the magnetic pole from the centre of motion to the side of the wire, there was neither attraction nor repulsion; but the wire endeavoured to pass off in: a circle, still leaving the pole for its centre, and that either on: one side or the other according to circumstances [...] Needles were not, attracted merely by the wire, but on arriving at it, still endeavoured to continue their course in the direction in which they had begun it, and on the wire being removed from the one side, to the other of them, so as to obviate the mechanical impediment it offered, they move on as at first, being apparently repelled: no attraction was observed to exist between a pole and a wire: all these phenomena are referable to the revolving motion.” (Faraday, 1822, p. 118)

22 No original, “That philosopher [Ampère] read a paper to the Academy of Sciences at Paris on Sept. 18, in which he proposed a: theory that reduced all the magnetic phenomena to effects purely electrical, and in many subsequent writings advanced further arguments, both experimental and theoretical, in support of it. I am desirous, however, at present, rather to mention the facts as they were discovered than the theories attached to them: in the first place, because they are of the most importance; and in the second, because there is no danger of attributing the theories to any but those from whom they originate.” (Faraday, 1821, p. 276)

experimentação nos permite colocá-lo em um grupo de filósofos diferente de Ørsted e Ampère, desenhando um novo estilo de pensamento. Para contextualizar essa proximidade do pensamento baconiano ao pensamento de Faraday, Williams aponta que:

Antes de examinarmos essa história [da publicação do *Panorama*], devemos perguntar qual posição Faraday assumiu quanto às relações entre observações experimentais, hipóteses e teorias, quando se deparou com o problema pela primeira vez. Infelizmente, há pouca documentação sobre esse ponto. Praticamente tudo o que temos de Faraday é seu famoso elogio à obra *The Improvement of the Mind*, de Isaac Watts, na qual **o leitor é advertido a ser cuidadoso no uso da linguagem e cauteloso ao formular teorias gerais a partir de 'algumas poucas observações, aparências ou experimentos' particulares**. Tal conselho era especialmente apropriado para alguém prestes a conhecer Ampère, que era culpado tanto de imprecisão linguística quanto de generalizações prematuras. Ainda assim, a leitura de Watts parece uma base bastante frágil para sustentar a atitude de Faraday. É algo comum afirmar que esse tipo de cautela empírica, ou 'baconianismo', era a atitude predominante na Inglaterra naquela época. Há indícios de que a necessidade de cautela empírica foi fortemente chamada à atenção de Faraday justamente quando ele começou a trabalhar e escrever sobre eletromagnetismo.²³ (Williams, p. 86, grifo nosso em negrito)

Faraday produziu uma outra explicação para o fenômeno, que abordou frontalmente a questão rotacional do fenômeno observado por Ørsted e evitada por Ampère, Biot e Savart. Enquanto a escassez de habilidades matemáticas do filósofo natural britânico o deixavam fora de certos diálogos acerca do que era discutido nas teorias de seu tempo, suas habilidades experimentais o levaram muito além da mera reprodução: Faraday realizou um panorama histórico que o levou a propor o primeiro motor elétrico. Baseando-se na hipótese dos monopolos magnéticos que girariam em torno do fio condutor e inspirado por seu tutor Davy, ele conseguiu explicar o fenômeno observado em 1820 em termos do movimento de revolução, ou seja, de que ao redor do fio se organizariam dipolos magnéticos estáticos como as limalhas de ferro que formavam um padrão circular. Ao isolar um dos polos de um ímã com mercúrio e deixar um fio condutor livre para se mover ao redor dele, comprovou sua hipótese e afirmou ser essa a causa do desvio da agulha magnética que Ørsted observou, tudo isso sem turbilhões, sem ação estritamente perpendicular e sem eletricidade e magnetismo isolados.

Novamente, é importante retomar a diferenciação entre experimento e experiência, que ganha uma nova complexidade com Faraday: os experimentos que o filósofo natural britânico

23 No original, “Before we look at this history, we ought to ask what position Faraday took with regard to the relationships between experimental observations, hypotheses and theories, as he confronted the problem for the first time. Unfortunately there is little documentation on this point. About all we have from Faraday is his famous praise of Isaac Watts's *The Improvement of the Mind* in which the reader was warned to be careful in his use of language and cautious about the erection of general theories from 'a few particular observations, appearances, or experiments'. Such advice was particularly good for someone about to make the acquaintance of Ampere who was guilty of both sloppiness of language and premature generalisation. Yet his reading of Watts seems a very slim foundation for Faraday's attitude. It is a commonplace that this kind of empirical caution, or 'Baconianism', was the prevalent attitude at this time in England. There is evidence that the need for empirical caution was forcefully called to Faraday's attention just as he began to work on and write about electromagnetism.” (Williams, p. 86, grifo do autor)

reproduz ao longo de seu *Panorama* não conduzem, individualmente, a um fato em específico, apenas sugerem relações entre os fenômenos; a partir de sua experiência integral, Faraday consegue associar cada resultado obtido experimentalmente com suas ideias, produz novos experimentos e, por fim, contribui para construção do “fato”, o que caracteriza ainda mais o seu pensamento como algo diferente dos anteriores. Delimita-se aqui o último coletivo de pensamento deste episódio histórico, baseado em uma valorização da atividade experimental na busca dos fatos, que, novamente, possui certa proximidade ao ideal baconiano que o diferencia de seus contemporâneos.

6. PROPOSTA DE INTERPRETAÇÃO DA “DESCOBERTA DO ELETROMAGNETISMO”

6.1 Síntese dos Coletivos de Pensamento

Posto que cada um dos grupos de filósofos naturais apresentados até aqui, que possuem membros que se ocuparam de verificar os resultados do experimento de Ørsted, possui concepções diferentes acerca da natureza dos fenômenos observados, se faz necessário ilustrar um possível coletivo de pensamento, ou *coletivos*, que englobe as ideias, pressupostos e cosmovisões de forma geral para todos eles. Propomos que há um conjunto de, pelo menos, três coletivos de pensamento distintos no episódio histórico em questão. Organizamos os filósofos naturais e suas interpretações discutidas anteriormente nos seguintes coletivos de pensamento, cada um com estilo de pensamento característico:

- ***Naturphilophie***: coletivo de pensamento daqueles que interpretaram o experimento da agulha magnética de acordo com os pressupostos e discussões da *Naturphilosophie* de Schelling, como Ritter e o próprio Ørsted, personagem central desta pesquisa e maior expoente desse episódio, e que buscavam uma unificação natural de todos os fenômenos da natureza;
- **Filosofia Natural Francesa**: coletivo de pensamento daqueles que buscaram produzir modelos matemáticos-descritivos dos fenômenos elétricos e magnéticos, com preocupação reduzida para com a realidade material subjacente a estes modelos, e que produziram explicações distintas que convergiam para um mesmo tipo de interpretação ao experimento da agulha magnética, em que temos Ampère, Biot e Savart como seus expoentes maiores;
- **Filosofia Natural “Empirista Baconiana”**: coletivo de pensamento daqueles que se utilizaram de uma sequência de pesquisa empírica, de fundo aparentemente baconiano, para delimitar os “fatos” em torno dos resultados do experimento da agulha magnética, em que temos Faraday como maior expoente,

A Figura 10 apresenta uma proposta de organização de algumas das categorias fleckianas aplicadas a este episódio histórico, considerando predominante a circulação intercoletiva de informações entre os coletivos demarcados, pois os principais representantes de cada grupo parecem ser coagidos pelo estilo de pensamento das ciências naturais, ainda que possuam diferentes influências filosóficas. Todos os personagens deste episódio histórico se ocupam da construção de um mesmo fato científico, apesar de suas diferentes abordagens.

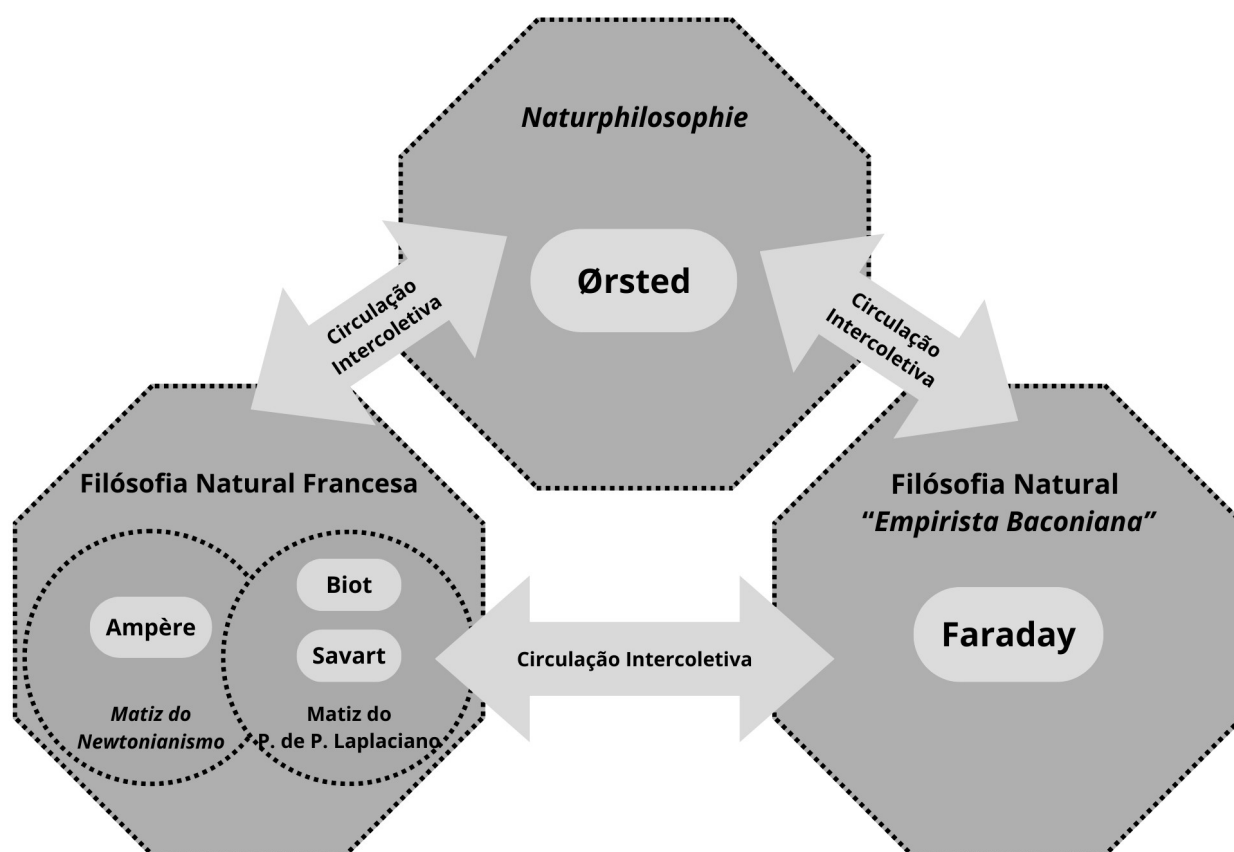


Figura 10: Proposta de esboço das relações conceituais referentes ao episódio denominado “descoberta do eletromagnetismo. Fonte: Elaborado pelos autores.

Denominaram-se três coletivos de pensamento de filósofos naturais do século XIX, separando-os em coletivos que pertencem aos estilos de pensamento supracitados. Cada coletivo, de formato octogonal, é composto de diferentes personalidades que compartilhavam ideais semelhantes acerca dos fenômenos naturais, conforme explorado nos Capítulos 4 e 5. Tratamos o pensamento dos filósofos naturais franceses como possíveis matizes de um estilo de pensamento dentro de um coletivo são representados como circunferências, que realizam uma troca intensa de ideias de forma intracoletiva e uma troca de ideias intercoletiva com os demais estilos. As linhas tracejadas representam a permeabilidade de cada grupo para o tráfego de ideias, mesmo diante das diferenças já exploradas no presente trabalho. As flechas representam o fluxo de ideias entre os grupos, sendo que o ponto focal de discussão seriam os fenômenos revelados a partir do experimento de Ørsted. Assim, temos que o episódio em questão foi investigado intensamente por esse conjunto de pesquisadores que deram enfoques distintos ao experimento da agulha magnética, produzindo hipóteses sob diferentes influências, e que mobilizaram a construção da relação entre eletricidade e magnetismo, delimitando um novo fato científico.

6.2 Considerações para o Ensino de Ciências

A partir do esboço apresentado na Figura 10, pode-se considerar que cada filósofo natural contemporâneo a Ørsted poderia ser classificado sobre certos estilos de pensamento dentro das ciências naturais. Contudo, cada um deles “herdou” uma tradição de estilos de pensamento adjacentes, seja ela filosófica (no caso da influência kantiana) ou científica (no caso da influência newtoniana). Assim, a discordância entre os modelos explicativos se acentua especialmente nas tentativas de comunicação e legitimação que cada filósofo natural propõe para seu modelo, em que são apontadas as contradições que não são óbvias ao seu círculo exotérico de origem. Nessas tentativas, cada filósofo produz novos termos, entidades e relações para tentar construir um consenso do que seria, por fim, o fato científico: a cada reformulação e a cada discussão, delimita-se a plasticidade dos conceitos em busca da objetivação deste fato. Em suma, Fleck (2010) explica que

A objetivação se divide em algumas etapas: começa com a referência a outros pesquisadores e ao percurso histórico de um problema, para despersonalizá-lo; introduz nomes específicos: ‘termos técnicos’; acrescentam-se signos particulares e, eventualmente, toda uma linguagem particular de signos, como é usada na química, na matemática ou na lógica. Essa linguagem, alheia à linguagem humana, garante o significado fixo dos conceitos e os torna sem evolução, absolutos. Soma-se a isso a veneração específica pelo número e pela forma, e ainda a tendência à plasticidade e a um sistema fechado. Exige-se um máximo de conhecimentos, um máximo de relações recíprocas de elementos individuais, na fé em se aproximar assim tanto mais do ideal da verdade objetiva quanto mais relações são detectadas. (Fleck, 2010, p. 200)

Ao ensino de ciências, essa proposta pode servir à desconstrução das distorções históricas e filosóficas que se manifestam nas aulas sobre o experimento de Ørsted e até mesmo para situar os estudantes acerca da complexidade que permeia a construção de um fato científico. Como já questionado por Villani (2001), seria correto pedir a um estudante que “abandonasse” sua cultura prévia para se adequar à ciência, ou ainda, ao que chamamos aqui de estilo de pensamento científico? Aqueles que se dedicaram a interpretar o resultado obtido por Ørsted combinavam suas próprias visões acerca da natureza, em termos filosóficos, ao que observavam e imbuíram seus modelos com essas visões.

Nesse processo de legitimação histórica e social do conhecimento científico, talvez seja preciso cessar a reprodução de equívocos conceituais, narrativas históricas simplistas e discussões deficitárias, como parece ser comum em livros didáticos de diferentes níveis de ensino, algo já discutido por Caluzi et al. (2007) e Gardelli (2014). Este trabalho sugere apenas uma possibilidade de enfrentamento, a partir de uma abordagem epistemológica fleckiana, de alguns destes problemas, buscando uma integração maior do conhecimento acerca deste episódio que até os dias atuais suscita debates sobre o acaso na ciência. Um aprofundamento histórico das influências de cada

personalidade apresentada neste trabalho pode produzir uma nova configuração de coletivos de pensamento e detalhar ainda mais como cada filósofo natural sofreu a “coerção definida” (Fleck, 2010) de seu estilo de pensamento, algo que pensamos ser uma continuidade desta pesquisa. Cabe, por fim, reforçar que as narrativas utilizadas no ensino de ciências devem se pautar cada vez mais nos resultados de investigações epistemológicas, e não na multiplicação de distorções, algo que buscamos estimular ao longo de todas as discussões apresentadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Experimento da Agulha Magnética constitui um marco fundamental na história da ciência do século XIX, ao desafiar as expectativas e concepções de diversos filósofos naturais, como Hans Christian Ørsted, André-Marie Ampère, Jean-Baptiste Biot, Michael Faraday, entre outros. As discussões sobre o mérito experimental de Ørsted, o papel do acaso e as influências filosóficas envolvidas nesse episódio oferecem um material particularmente rico para investigações em história, epistemologia, filosofia e ensino das ciências, temas que buscamos abordar de forma sintética neste trabalho e que ainda oferecem subsídios para novos debates.

A Epistemologia Comparada de Ludwik Fleck apresenta instrumentos conceituais de notável sofisticação para a análise histórica do desenvolvimento científico. Em especial, fornece categorias que permitem organizar e interpretar episódios científicos marcados pela presença de múltiplos atores, instituições e concepções divergentes, como os estilos de pensamento e seus matizes. Quando aplicada a momentos históricos caracterizados por intensos debates conceituais, nos quais ocorre a construção, recombinação, legitimação e ampla difusão de ideias, essa abordagem contribui para a formulação de panoramas interpretativos valiosos a historiadores, filósofos e educadores, além de favorecer uma compreensão mais refinada sobre o processo de estruturação dos fatos científicos.

Por fim, ao aplicar as categorias fleckianas ao episódio da “descoberta do eletromagnetismo”, buscamos levantar novas questões sobre a natureza da construção do conhecimento científico, evidenciando a complexidade epistemológica subjacente ao caso, em especial no que se refere ao papel desempenhado pelas diferentes variantes do estilo de pensamento predominante em determinado grupo na formulação de hipóteses. Propõe-se também que a abordagem fleckiana permite apresentar os diversos caminhos perscrutados pelos contemporâneos de Ørsted em um mesmo período histórico para a romper com a continuidade da construção do conhecimento que permeia o senso comum, em favor de uma visão integral do desenvolvimento científico. Espera-se que este trabalho possa estimular novos debates, investigações e propostas pedagógicas que valorizem a epistemologia da ciência tanto no ensino básico quanto no ensino superior.

8. REFERÊNCIAS

ASSIS, A. K. T. **Tradução Comentada das Principais Obras de Coulomb sobre Eletricidade e Magnetismo**. Montreal: Apeiron, 2022.

BUTTNER, S.. Ritter, Johann Wilhelm. In.: **Neue Deutsche Biographie**, v. 21, p. 664-665, 2003; Disponível em: <https://www.deutsche-biographie.de/pnd118745468.html#ndbcontent>. Acesso em: 18 mar. 2025

CALUZI, J. J.; SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B. A História Hipotética na Física: Distorções da História da Ciência nos Livros Didáticos sobre o Experimento de Ørsted. In: Encontro nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), 2007. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** [...]. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007. p. 1–10. Disponível em: https://abrapec.com/atas_enpec/vienpec/CR2/p1060.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.

CANEVA, K. L. Ampère, the Etherians, and the Oersted Connexion. **The British Journal for the History of Science**, v. 13, n. 2, p. 121–138, 1980. .

CARNEIRO, J. A. C. **A teoria comparativa do conhecimento de Ludwik Fleck: comunicabilidade e incomensurabilidade no desenvolvimento das ideias científicas**. 2012. Mestrado em Filosofia – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. DOI 10.11606/D.8.2012.tde-08012013-150309. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8133/tde-08012013-150309/>. Acesso em: 17 jan. 2025.

CHAIB, J. P. M. de C.; ASSIS, A. K. T. Nota sobre o Magnetismo da Pilha de Volta – Tradução Comentada do Primeiro Artigo de Biot e Savart sobre Eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 16, n. 2, 2006. Disponível em: <https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/608>. Acesso em: 19 ago. 2024.

CHAIB, J. P. M. de C.; ASSIS, A. K. T. Sobre os efeitos das correntes elétricas – Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 5, n. 1, p. 85–102, 2007. .

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Distorção da obra eletromagnética de Ampère nos livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 65–70, 2007a. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100012>.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 41–51, 2007b. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442007000100009>.

CHAIB, J. P. M. de C.; ASSIS, A. K. T. Sobre os efeitos das correntes elétricas (segunda parte): Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 2, n. 1, p. 118–145, 3 jun. 2009. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v2i1.374>.

COULOMB, C. A. (Charles A.; FOSSIER, ill; LE GOUAZ, Y.-M.; ADAM, engraver; BURNDY LIBRARY, donor D.; ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES (FRANCE). **Mémoires sur l'électricité et la magnétisme**. Paris : Chez Bachelier, libraire, 1789. Disponível em: <http://archive.org/details/mmoiressurllectr00coul>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CUNNINGHAM, D. A.; JARDINE, N. **Romanticism and the Sciences**. CUP Archive, 1990.

- FARADAY, M., Historical Sketch of Eletromagnetism. **Annals of Philosophy**. London, 1821. v. 2, (, 3). Disponível em: <http://archive.org/details/annalsofphilosop18phil>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- FARADAY, M. Historical Sketch of Eletromagnetism. **Annals of Philosophy**. London, 1822. v. 3, (, 2). Disponível em: <http://archive.org/details/annalsofphilosop18phil>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- FOX, R.. Laplacian Physics. In.: CANTOR, G. N.; CHRISTIE, J. R. R.; HODGE, M. J. S.; OLBY, R. C. (Orgs.). **Companion to the History of Modern Science**. 1st edition. London: Routledge, 1996.
- FLECK, L. **A Gênese e Desenvolvimento De Um Fato Científico**. 1ª edição. FABREFACTUM, 2010 [1935].
- FLECK, L. **The Problem of Epistemology**. In.: COHEN, R. S.; SCHNELLE, T. (Orgs.). **Cognition and Fact: Materials on Ludwik Fleck**. 1986ª edição. Springer, 2012.
- FRERCKS, J.; WEBER, H.; WIESENFELDT, G. Reception and Discovery: The Nature of Johann Wilhelm Ritter's Invisible Rays. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 40, n. 2, p. 143–156, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2009.03.014>.
- GARDELLI, D. Antecedentes históricos ao surgimento do eletromagnetismo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 118–137, 25 abr. 2018. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n1p118>.
- GARDELLI, D. **Experimento de Ørsted: subsídios para uma abordagem histórica do assunto no ensino médio**. 2014. 208 f. Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá - PR, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/4516>. Acesso em: 3 mar. 2025.
- HORNER, L.; HORNER, J. B. (ed.) **The soul in nature : with supplementary contributions**. London : H. G. Bohn, 1852. Disponível em: <http://archive.org/details/soulinnaturewit00horngoog>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- HUMBLLOT, D. & **Neue Deutsche Biographie.: Band 21: Putter - Rohlf. Mit Adb & Ndb-Gesamtregister Auf CD-Rom**. Berlin: Duncker & Humblot, 2003.
- JACKSON, A. D.; KNUDSEN, O. (ed.). **Selected scientific works of Hans Christian Orsted**. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1998.
- KIPNIS, N. Chance in Science: the discovery of Electromagnetism by HC Ørsted. **Science & Education**, v. 14, n. 1, p. 1–28, 2005.
- LORENZETTI, L. **Estilos de pensamento em educação ambiental: uma análise a partir das dissertações e teses**. 2008. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91657>. Acesso em 3 ago. 2025
- MARTINS, R. de A. Oersted e a Descoberta do Eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, p. 89–114, 1986. .
- MARTINS, R. de A. Ørsted, Ritter, And Magnetochemistry. **Hans Christian Ørsted and the romantic legacy in science: Ideas, disciplines, practices**, p. 339–385, 2007.

NOBRE-DA-SILVA, N. A.; QUEIRÓS, W. P. de; DELIZOICOV, D. O uso do referencial fleckiano no contexto brasileiro: uma análise da categoria circulação de ideias. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 9, n. 3, p. 1–24, 11 dez. 2024. <https://doi.org/10.3895/actio.v9n3.18352>.

ØRSTED, H. C. Experiências Sobre o Efeito do Conflito Elétrico sobre a Agulha Magnética. trad. Roberto de Andrade Martins. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, p. 115–122, 1986. .

PESCHEL, C. F. (Carl F.; WEST, E. (Ebenezer). **Elements of physics**. London : Longman, Brown, Green, and Longmans, 1845. Disponível em: <http://archive.org/details/elementsphysics05westgoog>. Acesso em: 11 nov. 2024.

PRIVAT-DESCHANEL, A. (Augustin); EVERETT, J. D. (Joseph D. **Elementary treatise on natural philosophy**. New York : D. Appleton and Company, 1890. Disponível em: <http://archive.org/details/elementarytreati03priviala>. Acesso em: 11 nov. 2024.

ROGET, P. M. **Electricity, Galvanism, Magnetism and ElectroMagnetism by P. M. Roget**. Robert Baldwin, 1831. Disponível em: http://archive.org/details/bub_gb_AkL2HMiS26cC. Acesso em: 11 nov. 2024.

ROSA, P. **Uma introdução à pesquisa qualitativa em ensino**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 20 set. 2015. Disponível em: <https://editora.ufms.br/produto/uma-introducao-pesquisa-qualitativa-em-ensino/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

VILLANI, A. Filosofia da ciência e ensino da ciência: uma analogia. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 7, p. 169–181, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200003>.

WHITE, J. Herschel and the Puzzle of Infrared. 6 fev. 2017. **American Scientist**. Disponível em: <https://www.americanscientist.org/article/herschel-and-the-puzzle-of-infrared>. Acesso em: 20 mar. 2025.

WILLIAMS, L. P. Ampère’s electrodynamic molecular model. **Contemporary Physics**, 1 dez. 1962. DOI 10.1080/00107516208201724. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00107516208201724>. Acesso em: 23 abr. 2025.

WILLIAMS, L. P. **Michael Faraday: A Biography**. Touchstone, 1971.

WILLIAMS, L. P.. Faraday and Ampere: A Critical Dialogue. In.: GOODING, D.; JAMES, F. A. J. **Faraday Rediscovered: Essays on the Life and Work of Michael Faraday, 1791-1867**. New Ed edition. London: Palgrave, 1989.