

O Efeito Faraday e a matéria

João B. A. dos Reis

Fernando Rodrigues Silva

Wellington Silva Vieira

Resumo

Esta pesquisa relata estudos sobre os aspectos históricos do eletromagnetismo em parceria com alunos dos cursos de Engenharia do Centro Universitário de Caratinga, Projeto Ciências Integrada, nas disciplinas de Física e Química, dada a ênfase na relevância da metodologia experimental de Michael Faraday de 1845 a 1850. Priorizou-se a leitura dos textos originais de Faraday e de seus comentadores referentes ao contexto em artigos em português, proporcionando a confecção de textos didáticos de divulgação científica. Os resultados foram motivo de seminários interdisciplinares versando sobre a aplicabilidade da ciência no contorno histórico da época, visando contribuir com textos de abordagens interdisciplinares.

Palavras-chave: *Divulgação Científica; Interdisciplinaridade; Ensino de Física; História da Ciência e Ensino.*

Abstract

This research reports studies on the historical aspects of electromagnetism held in partnership with the engineering undergraduate students of the Centro Universitário de Caratinga, who are part of the Integrated Sciences Project, which is part of the disciplines of Physics and Chemistry, and which give the emphasis on the relevance of the experimental methodology of Michael Faraday from 1845 to 1850. The original texts of Faraday and his commentators concerning the context in Portuguese articles were prioritized, providing the preparation of didactic texts for scientific dissemination. The results of that led to evolve some interdisciplinary seminars on the applicability of science in the historical context of that time, in order to contribute with texts of interdisciplinary approaches.

Keywords: *Scientific Divulcation; Interdisciplinarity; Physics Teaching; History of Science and Teaching.*

INTRODUÇÃO

Nesta pesquisa foram analisados alguns experimentos sobre magnetismo e matéria de Michael Faraday (1791-1867) – um estudioso britânico –, reportados em seus diários de laboratório na versão impressa intitulada *Faraday's Diary: Being the Various Philosophical Notes of Experimental Investigation*, organizado por T. Martin e publicado pela G. Bell and Sons em 1933, em *Experimental Researches in Electricity*, que a partir de agora iremos nos referir como ERE, e alguns comentadores. Os textos já estavam traduzidos nas coletâneas citadas no próximo parágrafo. Esse projeto foi endereçado ao estudo da matéria elétrica e magnética (das origens do eletromagnetismo) em parceria com alunos dos cursos de Engenharia do Centro Universitário de Caratinga – UNEC, Projeto Ciência Integrada, nas disciplinas de Física e Química, sobre a relevância da metodologia experimental de Michael Faraday entre 1845 e 1850 para a confecção de textos didáticos de divulgação científica.

Iniciaram-se os estudos em 2016, tendo como textos iniciais sugeridos para leitura e análise aqueles sobre História da Ciência e Ensino de um Projeto, cujos fundamentos básicos pautaram-se em

coletânea organizada por Ivoni Freitas-Reis¹, e um texto da *Revista de Ciências*² publicado pela editora do UNEC. Os resultados desse projeto foram relatados em seminários interdisciplinares direcionados aos alunos de Engenharia do UNEC, e consequente apresentação de pôsteres (conforme objetivos intrínsecos ao projeto) na VI Jornada de História da Ciência e Ensino protagonizada pela Universidade Federal de Juiz de Fora, vindo gerar este artigo. Metodologicamente, este artigo explana o contexto de um dos seminários do projeto das disciplinas de Física Geral Experimental III, apresentado pelos alunos participantes do projeto Fernando Rodrigues Silva, Wellington Silva Vieira, versando sobre a aplicabilidade da ciência em Michael Faraday, além do contorno histórico da época, visando contribuir com textos de abordagens interdisciplinares referentes ao eletromagnetismo, matéria e luz.

Objetivou-se, naturalmente, divulgar esta temática, devido à escassez de citações no ensino da eletricidade e magnetismo em um contexto teórico histórico mais abrangente sobre as raízes conceituais, sendo elas as bases para a elaboração do seminário baseado nos textos já citados. Os resultados tinham como objetivo principal de divulgação serem veiculados em seminários, congressos etc. no final de cada semestre.

Decidiu-se, então, para formalizar, o estudo focando nos textos sobre as questões teórico-experimentais relacionadas aos experimentos das Séries XIX (1845) até as Séries XXV (1850) do ERE e correlacionando-as ao *Faraday's Diary* com respeito aos princípios metodológicos experimentais, os quais foram detalhados seguindo o princípio que nos orientou pedagogicamente, ou seja, a concepção de professor Michael Faraday sobre educação e suas especificidades da época. Eventualmente, sem uma imersão mais aprofundado, discutiu-se nos seminários essas questões pontuais. Nesse caso, buscou-se entender como ele incorporou determinadas técnicas de linguagem, aspectos dialéticos e pedagógicos na sua própria vida, provenientes de um interesse especial e metodológico pela educação mental.³ Um diálogo mais próximo com o estudioso britânico, a partir dessas manifestações intelectuais concluiu-se que a observação, a experimentação e a analogias foram os três princípios básicos inerentes às atividades e planos de seu trabalho científico.⁴

Faraday ateu-se a detalhes importantes e peculiares, tornando acessíveis os aspectos pertinentes ao entendimento e identificação das informações científicas úteis no cotidiano dos jovens britânicos do século XIX, no intento de conectar ciência e educação. Concluiu-se nesse tópico, conforme

¹ João B. A. dos Reis, Ingrid N. de Rossi, & Marcelo F. Pinto, "Michael Faraday: Diferentes Formas de Pensar o Experimento," in *Estratégias para a Inserção da História da Ciência no Ensino: Um Compromisso com os Conhecimentos Básicos de Química*, org. Ivoni Freitas-Reis, 90-111 (São Paulo: Livraria da Física, 2015).

² João B. A. dos Reis & Ivoni de F. Reis, "Os Experimentos de Michael Faraday de 1845 a 1850: 'Anomalias de Polaridade' Inter-relações entre Matéria, Magnetismo e Luz," *Revista de Ciências* 6 (2015): 77-97.

³ H. J. Fisher, "Faraday's Two Voices," *Physis* 29 (1992): 179-181. Vide, também, David Knight, *Ideas in Chemistry: A History of the Science* (New Jersey: Rutgers University Press, 1992), 89-92. Sobre a relevância e posição da ciência na educação, vide Peter Day, org., *The Philosophers's Tree: Michael Faraday's Life and work in his own Words* (Bristol; Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1999), 186-193.

⁴ Michael Faraday, "Observation on Mental Education," in *Experimental Researches in Chemistry and Physics* (London: Richard Taylor and William Francis Publisher, 1859), 464-491.

discussões no tema do seminário “Efeito Faraday”, que as diferentes linguagens usadas na construção dos estudos do eletromagnetismo tratavam-se de um construto, ou melhor, um projeto arquitetônico elaborado para investigar as matérias elétrica e magnética. Serviu para revisar, facilitar, reinterpretar conceitos pela verificação articulada através de novas técnicas de observação, as quais eram idealizadas pelo programa de pesquisa que conferia resultados conceituais após estudo detalhado e rigoroso das configurações conduzidas e explicitadas nas linhas de força física, ou linhas de indução pelas forças elétrica e magnética.⁵ Grosso modo, fundamentou-se tais argumentos através das relações singulares das propriedades da matéria conforme investigações dos esboços dos experimentos do *Faraday's Diary*, sendo eles relacionados no corpo desta pesquisa, citaremos mais adiante.

O filósofo natural Michael Faraday reformulou modelos conceituais cuja estrutura formal evidenciava, inclusive, que a eletricidade voltaica, a eletricidade comum, magneto-eletricidade, termo eletricidade e eletricidade animal tinham uma origem comum. Teoricamente, a conversibilidade da matéria, inicialmente, entre magnetismo e eletricidade, instigaram o estudioso britânico à formulação de modelos que determinariam o comportamento nas linhas de força das interações elétricas e magnéticas, quando elas interagissem com a matéria.

Os esboços que serão discutidos como parte desse estudo, a partir de agora, referem-se ao texto publicado na *Revista de Ciências* 6, que foram analisados pelos alunos antes das discussões dos seminários relativos a esses argumentos relacionando magnetismo e matéria. Grosso modo, referimo-nos às bases dos estudos iniciais das relações entre o magnetismo e a luz. Referimo-nos aos procedimentos metodológicos, linguagem metafórica, observação, desenvolvimento e conclusão conceitual.

Inicialmente, por uma questão estrutural, fez-se necessário fazer uma incursão nos pressupostos de 1838 antes da imersão sobre o tema geral para fortalecer a argumentação do seminário “Efeito Faraday”, tendo em vista que Faraday relacionou os experimentos referentes à eletricidade estática e à magneto-eletricidade (eletromagnetismo). Nelas, as partículas da matéria eram compostas por forças arranjadas em padrões complexos configurados de acordo com suas individualidades. Quanto à força elétrica, esta estabeleceria uma tensão imposta às moléculas e as fazia sustentar uma grande intensidade de carga. Consequentemente, o rompimento dessa cadeia na

⁵ Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, ed. J. Mortimer Adler (Chicago: Encyclopædia Britannica, 1952), 503, § 2149. “definirei o sentido conectado com certos termos, que eu terei a chance de usar: assim por *linha de força magnética*, ou *linha magnética de força*, ou *curva magnética*, quero dizer o exercício da força magnética, que é exercido nas linhas usualmente chamadas curvas magnéticas, e que igualmente existem como se estivessem passando de *l* ou para os polos magnéticos, ou formando círculos concêntricos ao redor de uma corrente elétrica. Por *linhas de força elétrica*, eu defino a força empenhada nas linhas unindo dois corpos, agindo um sobre o outro de acordo com os princípios da indução eletrostática. (§1161, &c.), que podem também ser em linhas curvas ou retas. (...)”. Vide também Marcus Giaquinto, “Epistemology of Visual Thinking in Elementary Real Analysis,” *The British Journal for the Philosophy of Science* 45, nº 3 (Set. 1994): 804.

linha de tensão seria acompanhado de fortes estalidos geradores de centelhas eletrizadas. A luz elétrica seria o resultado do mesmo processo numa escala menor. A força eletrostática variava em conformidade com as moléculas do meio, sendo transmitida em linhas diferentes das magnéticas (eram curvas e sem término), determinadas também pela capacidade indutiva específica. Isso confirmava a crença de Faraday nas forças exercidas entre as moléculas, e esses conceitos tornaram-se no projeto foto de análise para futuras intervenções conceituais.

Voltando às discussões do tema do seminário, o estudioso britânico - filósofo natural – ditames da época e de sua preferência do termo, ao invés de ser identificado como professor. Ele idealizou também vários experimentos para provar que as cargas elétricas distribuíam-se na superfície externa e não internamente. Um deles foi denominado “manga cônica de Faraday”, a qual consistia de um anel fixo e uma tela cônica metálica que ficava carregada eletricamente na superfície, e este experimento originou outros. A “gaiola de Faraday” também data da mesma época. Faraday observou que, quando cargas elétricas incidiam sobre a superfície externa de um condutor oco, elas se distribuíam na superfície externa, não no interior do condutor, e nenhuma influência das cargas elétricas era observada. Fora a partir desse experimento que se derivou o conceito de blindagem eletrostática. Ao investigar circuitos de correntes transitórias, tal estado era definido como uma espécie de “esforço” causado sobre as linhas de força, uma espécie de elasticidade inerente à matéria. Seria similar ao que entendemos atualmente por momento eletromagnético de uma corrente.

Desta forma, então, após as explicações anteriores, principiamos, então, com os experimentos de Faraday de 30 de agosto de 1845⁶, quando ele refez as propostas experimentais de 1844 e as registrou em seu diário de laboratório. A realização desses experimentos enfocava a polarização da luz; inicialmente, ele usou uma solução de sulfato de sódio em uma célula cilíndrica, uma barra de vidro de borossilicato de chumbo, trespassada por um raio de luz polarizado de uma lâmpada de Argand interceptado por um prisma de Nicol, colocado no final do aparato. Observou que as correntes elétricas e as linhas de força magnéticas unidas polarizaram a luz por reflexão em um plano vertical pelo caminho diagonal de feixes incidentes sobre uma superfície refletora.

As conclusões teóricas desse experimento provocaram um forte impacto na teoria da matéria magnética, principalmente quanto às características a que o conceito ficou conjugado. Evidenciou-se que as forças magnéticas não eram unidades específicas dos metais ferro, níquel, cobalto e seus compostos. A luz polarizada, orientada para se propagar nas vizinhanças, era refletida sobre uma célula cilíndrica de vidro que continha, no seu interior, uma solução de sulfato de sódio, conforme citado. O mesmo experimento foi realizado utilizando turmalina no final da célula, em substituição ao

⁶ Michael Faraday, *Faraday's Diary: Being the Various Philosophical Notes of Experimental Investigation*, ed. Thomas Martin. 8 vols. (London: G. Bell and Sons, 1933), 5:256, § 7440.

prisma de Nicol, usado no experimento anterior. Assim, o exame do raio e do efeito na célula, que continha sulfato de sódio, foi considerado bom. Faraday concluiu que em tal experimento não houvera interferência de correntes elétricas no raio polarizado.⁷

“um raio de luz emitido por uma lâmpada de Argand, foi polarizado num plano horizontal pela reflexão de uma superfície de vidro, e, o raio polarizado passou através de um prisma de Nicol, girando sobre um eixo horizontal, sendo então facilmente analisado pelo prisma. Entre o plano da luz polarizada e o prisma foram arranjados dois poderosos eletromagnetos, um magneto com formado de ferradura, e o outro um magneto cilíndrico colocado paralelo aos polos contrários [N e S] de tal forma, que os raios passariam próximos a eles, (...) na direção sempre o mais próximo possível das linhas de força (2149). Depois disso, qualquer substância transparente colocada entre os polos reversos de um magneto passaria através deles, tanto o raio polarizado quanto as linhas magnéticas, ao mesmo tempo e na mesma direção.”⁸

Com base nessas observações preliminares dos estudos sobre as relações entre o magnetismo e a luz, o estudioso britânico sustentava que a polaridade independia das resistências dielétricas. Assim, para ele, a polaridade vinculava-se às forças dos magnetos, transmitidas através das linhas de força. Dessa forma, Faraday afirmava que:

“Uma nova condição (i.e., nova para o nosso conhecimento) tem sido aplicada sobre a matéria, submetendo-a às ações das forças magnéticas e elétricas (2227); (...) manifestada pelos poderes da ação a qual a matéria obteve sobre a luz. O fenômeno, agora, era descrito totalmente diferente na sua natureza e provava, além da condição magnética das substâncias referidas e conhecidas por nós, várias outras, incluindo um vasto número de corpos metálicos e opacos, (...) talvez todos, exceto os metais magnéticos e seus compostos: e eles também, através dessas condições, apresentam-nos os significados do empreendimento e a correlação do fenômeno magnético, e talvez a construção de uma teoria da ação geral magnética, baseada em princípios fundamentalmente simples.”⁹

⁷ Ibid., 5: 257, § 7441-7444.

⁸ Ibid., § 380, 394, 412, 416 e § 283, 257, 1110 e 1115.

⁹ Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 607, § 2243.

No seminário, foi discutido o experimento de 13 de setembro de 1845 – quando Faraday refez os experimentos inacabados e malsucedidos de 5 de setembro de 1845 –, o qual iria constituir as bases bem-sucedidas dessas investigações. Nesse caso, começava explorando a questão da posição entre os polos dos eletromagnetos, cujo objetivo era manter o controle sobre as condições do experimento¹⁰.

Conforme ilustração da Figura 1, ainda usou barras de vidro de borossilicato de chumbo, pois os vidros *flint* de cristais de rocha e de calcário não obtiveram sucesso. Para estudar as diferentes posições entre polos dos eletromagnetos, explorava as relações do magnetismo e a luz.

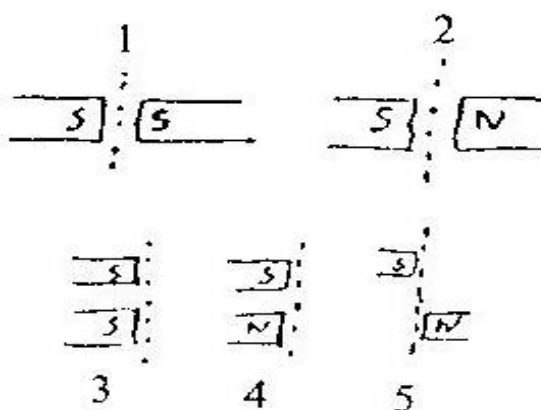


Figura 1: Referências sobre as diferentes posições entre os polos de eletromagnetos e vidros ópticos usados por Faraday para explorar as relações do magnetismo e o plano de polarização da luz.

Faraday argumenta, ainda, que isso era o “resultado de um dos seus antigos experimentos com vidros ópticos”¹¹. Eles foram colocados nas posições 1 e 3, conforme indicado pelas linhas pontilhadas da Figura 1 (1, 2, 3, 4 e 5). Todavia, nenhum efeito fora observado. Mas, quando as barras de vidro foram colocadas conforme posição 4, o estado do plano de polarização da luz havia sido alterado. Após ter passado através da barra de vidro óptico, em posição já definida, configurou-se nas linhas de força magnética. Houve um efeito produzido no raio polarizado, o magnetismo girou o plano de polarização da luz.¹² (Ilustração do esboço original conforme Figura 2 – identifica-se o experimento retirado do *Faraday's Diary* p. 264 parágrafos 7504-7505). Citando Michael Faraday:

“Uma barra de vidro pesado (7485), o qual media 2 polegadas por 1,8 polegadas, e 0,5 polegada de espessura, foi colocada na frente de um eletromagneto (entre os polos Norte e Sul paralelos entre si). Nesse caso, o vidro foi o borossilicato de chumbo, bem polido em suas arestas, e não houve efeito em relação ao curso do raio de luz polarizado, quando o mesmo passava entre os mesmos polos

¹⁰ Faraday, *Faraday's Diary*, 5:256, § 7498-7499.

¹¹ *Ibid.*, 264, § 7505.

¹² Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 595-596, § 2150.

magnéticos, (Norte e Norte) ou polos contrários (Norte e Sul) – nem quando os mesmos polos foram colocados paralelos, qualquer corrente constante ou intermitente – MAS. Quando polos contrários foram colocados do mesmo lado em paralelo, houve um efeito produzido no raio polarizado e, portanto, a força magnética e a luz provaram ter relações entre si. Esse fato, muito provavelmente, provará a extrema fertilidade e o importante valor de ambos, na investigação das condições das forças da Natureza”.¹³

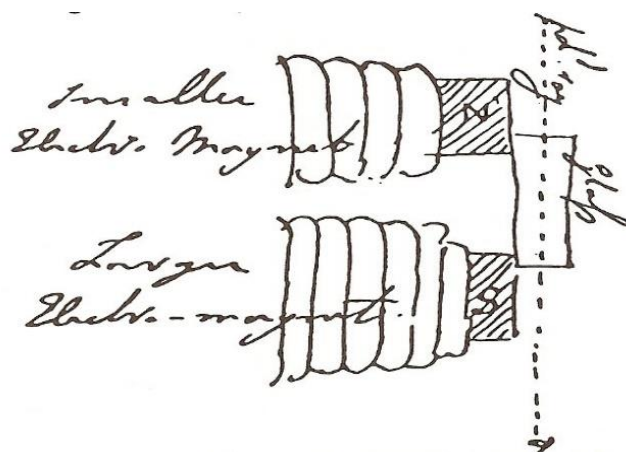


Figura 2

A ilustração da Figura 3 elaborada por Geoffrey Cantor, comentador de Faraday do século XX, indica o caminho percorrido pelo raio polarizado dentro do corpo polarizador e submetido a um campo de força. Essa ilustração demonstra que as linhas de força física, ou melhor, o campo de força magnético girava o plano de polarização da luz. A rotação do raio de luz era alterada somente se a polaridade do eletromagneto fosse mudada e, nesse caso, o poder da rotação do plano da luz polarizada seria diretamente proporcional à intensidade da força magnética.

Michael Faraday argumentava que essa alteração não estava relacionada à polaridade dos magnetos nem a ação dos dielétricos, mas à ação das linhas de força e das diversas peculiaridades do raio de luz, que definiam os principais aspectos desse efeito:

“A minha visão de polaridade está fundamentada na característica tomada por ela mesma em direção as forças, (...) [exemplo] quando um condutor elétrico se move em uma mesma direção, perto ou entre os corpos, age magneticamente sobre si mesmo ou entre eles. Há uma corrente constante produzida, a polaridade magnética

¹³ Faraday, *Faraday's Diary*, 5:264, § 7504 de 13 de Setembro de 1845.

é a mesma; se o movimento ou a corrente forem invertidas, a polaridade magnética é direcionada. A direção é, na verdade, ou para o exterior ou para o interior dos corpos magnéticos, sempre que a corrente é produzida, e depende do desconhecido, mas, essencial caráter dual ou antitético natural das forças a qual chamamos magnetismo.”¹⁴

Dessa forma, as considerações de Faraday sobre tais experimentos sugeriam um efeito magnético de adição, através de uma força específica induzida pelo magnetismo para a direita ou para a esquerda. Tais aspectos reforçavam suas convicções de que havia uma relação direta e dependente entre a luz e as forças magnéticas e elétricas, as quais estavam ligadas a uma origem comum.¹⁵

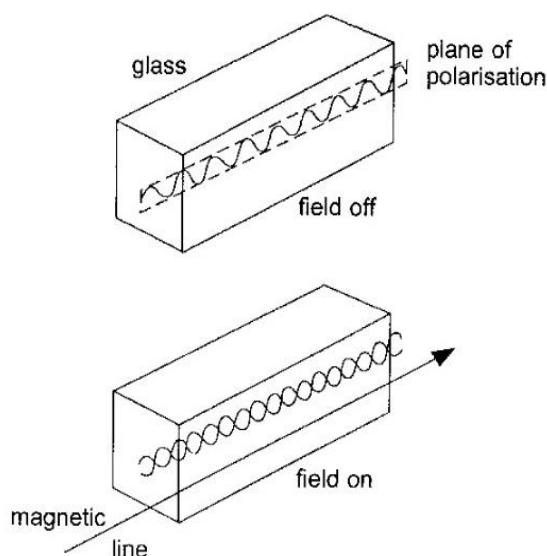


Figura 3: Ilustração do “Efeito Faraday” como é atualmente conhecido, ou ação magneto-óptica, um efeito do magnetismo sobre os raios e o plano de polarização da luz. Quando esses atravessavam os vidros de borossilicato de chumbo de alta densidade, o magnetismo afetava os raios do plano polarizado da luz, fazendo com que ele girasse em torno do próprio eixo.¹⁶

Argumentava, então, que as características magnéticas e suas particularidades acerca da condutividade dos corpos magnéticos eram identificadas a partir da organização molecular desses corpos. Para Faraday, as forças elétricas e magnéticas não só exerceriam forças de polarização, mas também de despolarização da luz. Sem dúvida, esses argumentos continham uma influência especial

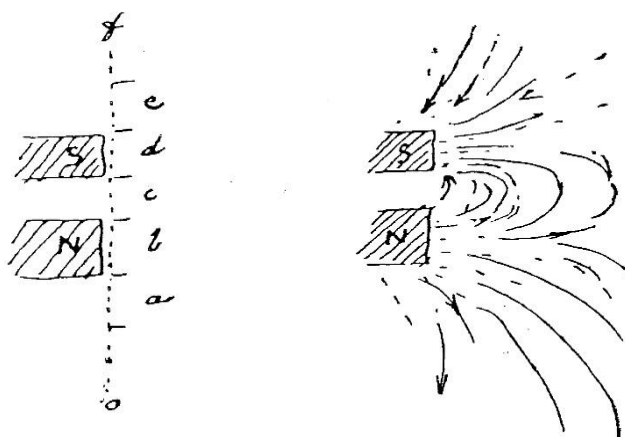
¹⁴ Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 740-741, § 3307-3309.

¹⁵ *Ibid.*, 603, § 2221.

¹⁶ Geoffrey Cantor, *Michael Faraday: Sandemanian and Scientist: A Study of Science and Religion in the Nineteenth Century* (London: Macmillan Press, 1991), 77.

que deveria ocorrer, também, sobre as demais formas de força, tais como os agentes radiantes, ou seja, o calor e a força química.¹⁷

Em outro experimento, datado de setembro de 1845, Faraday analisou mais detalhadamente a ação dos campos magnéticos e das linhas de força sobre a luz polarizada. Observou que havia uma pequena modificação na cor, ou seja, decréscimos e acréscimos na frequência da luz, devido à concentração das linhas de força pela justaposição. Explicava um dado acréscimo da luminosidade que surgia nas linhas de força física, vizinhas aos polos opostos de magnetos paralelos, conforme os esboços da figura 4(a) e 4(b).



Figuras 4 (a) e 4 (b): Os esboços foram retirados do *Faraday's Diary* volume V parágrafos 7585 e 7582. Experimentos realizados entre 13 de setembro 1845 e 18 de setembro de 1845, na sequência de outros experimentos anteriores e correlatos.

Michael Faraday assegurava que os experimentos relativos ao efeito de posicionamento de vidros, com alto índice de refração, cujos efeitos foram muito bons anteriormente, necessitavam de explicações estruturais, principalmente para justificar a fraca imagem exibida no experimento em função da troca das lentes (de aumento) usadas na condução do raio de luz polarizado.

Portanto, conforme a figura 4(a), Faraday fez um feixe de luz polarizada atravessar as vizinhanças de dois magnetos paralelos em relação aos polos demarcados. Referido experimento foi feito da posição “o” para “f” (de baixo para cima). Na sequência, o raio projetava na posição “a” uma imagem escura. Quando passou pelo ponto “b”, a imagem retomou as características naturais, mas, em “c” a imagem ficou brilhante, em “d” natural e em “e”, novamente, escureceu.

Essa explicação encontra-se na figura 4(b). Conforme Faraday, a polaridade das linhas de força em um magneto concentrava-se, justamente, na posição onde o raio de luz polarizado brilhava. Essa conexão justificava as mudanças na direção das forças magnéticas reversas, encontrando-se em ponto circular polarizado pelos vidros nas diferentes posições.

¹⁷ Ibid., 514-515, §1617-1620.

O discurso, aqui apresentado, mostra a importância da exploração dos significados físicos através da representação pela observação, junto ao tratamento visual do estudioso britânico. Técnicas especificamente elaboradas para a investigação criaram uma série de modelos, que compuseram uma indispensável formulação conceitual da matéria eletromagnética.

A intensificação dessa prática, observada nos estudos entre 1861 e 1862, período das últimas investigações de Michael Faraday sobre esse tema, ocorreu quando passou a se dedicar, com mais frequência, à exploração das relações e características inerentes entre o magnetismo e a luz.

Sendo assim, tudo isso proporcionou, principalmente, a reavaliação dos próprios conceitos elaborados por ele mesmo, através do exercício experimental em relação ao eletromagnetismo, anterior a 1850. Trata-se de uma reelaboração conceitual, como parte integrante de um constante aperfeiçoamento de ideias, uma proposta metodológica.

Características inerentes ao pensamento de Faraday também se manifestaram em seus estudos sobre a polarização da luz. As variantes e os efeitos observados, em seus estudos da polarização da luz evidenciaram melhor a sua prática e procedimentos metodológicos. Também o levaram a identificar os principais aspectos conceituais de sua teoria sobre a matéria elétrica e magnética.

Algumas evidências se revelaram nessa fase. Primeiro, a luz era afetada pelas forças magnéticas e produzia efeitos magnéticos sobre um magneto-cristal, um efeito magneto óptico, o “Efeito Faraday”. Segundo, observou a evidência de que vidros e cristais de alto índice de refração afetavam as ações das forças magnéticas e vice-versa.

Essas constatações levaram Faraday a pesquisar, com mais intensidade, os fenômenos causados por um magneto-cristal. Esses fenômenos determinavam a necessidade de intensas e diversificadas investigações, para melhor definir os resultados obtidos nos experimentos com a luz e toda a matéria magnética, ou seja, com os cristais magnéticos, para e diamagnéticos.

Em fevereiro de 1857, Michael Faraday voltou a se opor, refutando os princípios das bases da lei do inverso do quadrado da distância, sendo abordadas as discordâncias no ensaio *On the Conversion of Force*, em que ele relatou sobre a execução de uma nova série de experimentos. Inicialmente, a ideia da condução e propagação das matérias elétricas e magnéticas com fluxo necessitaria de retificações as formulações desse princípio¹⁸, fundamentado pela mensuração das forças, quando se propagavam de um ponto ao outro em tempo progressivo.

Faraday não se adequava às convicções de uma ação instantânea, não intermediada. Tal atitude emergia de suas crenças. Seus argumentos fortaleceram o conceito das linhas de forças ou a

¹⁸ Faraday, *Faraday's Diary*, 4:264, § 7505. Vide também, Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, § 380, 394, 412, 416 e § 283, 257, 1110 e 1115.

condução por indução. Além disso, sustentava o princípio da natureza polar de todas as forças, exceto, aparentemente, a gravidade. Por outro lado, admitia a hipótese da indestrutibilidade ou conservação das forças. Nesse caso, ignorava as quantidades definidas e mensuradas quanto à relação com a lei do quadrado da distância. Era incompatível a condição da condução da matéria eletromagnética no espaço, onde, naturalmente, ocorriam, de maneira progressiva, as interações das forças físicas nas linhas de indução.¹⁹

Faraday em nenhum momento acreditou que houvesse separação, quanto ao tratamento, das características da condutividade da matéria eletromagnética e dos processos químicos. Mas, por outro lado, defendia a ideia de campo como uma região perturbada pela interação de forças, perpendiculares em cada ponto das linhas de indução. Desse modo, caracterizava a condutividade e fortalecia a concepção dinâmica do conceito de campo.²⁰

Alegava que as estruturas químicas justificavam o fato das correntes elétricas agirem transversalmente (em razão dos arranjos moleculares), devido aos poderes de origem química. Tais constatações possibilitavam a formalização do princípio da condução eletromagnética através das linhas de força, como um fluxo vibracional. Nesse sentido, o eletromagnetismo de Michael Faraday compunha-se melhor como um modelo ondulatório.

As reflexões sobre a matéria, bem como da unicidade das forças da natureza, as convicções de Michael Faraday levaram-no a elaborar os conceitos da teoria de campo. Também confirmou a unificação das forças naturais das matérias elétrica e magnética convertidas na entidade física, ou seja, o eletromagnetismo. Por outro lado, seus argumentos acerca desses aspectos constituíram-se de procedimentos formais pertinentes ao processo teórico-experimental, em conformidade com a ideia de que a natureza das coisas seria governada por leis divinas.²¹

As bases conceituais, aqui expostas, foram derivadas dos resultados obtidos pelos vários experimentos de Faraday a respeito da construção da teoria geral da matéria eletromagnética. Por isso, a metodologia arquitetônica de Michael Faraday levaria a tecer diversas considerações acerca da utilidade de um recurso analítico, evidenciado pela formulação de argumentos sobre a formação conceitual da matéria através da conservação das forças de origem física.²²

Faraday argumentou, inclusive, ser impossível haver uma ação que provenha do espaço sem que haja, em oposição, uma força elétrica, magnética ou química de igual intensidade. Assim, conforme

¹⁹ Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 837-838, § 3323-3325.

²⁰ Geoffrey Cantor, "Reading the Book of Nature: The Relation between Faraday's Religion and his Science," in *Faraday Rediscovered: Essays on the Life and Work of Michael Faraday, 1791-1867*, orgs. David Gooding & Frank A. J. L. James (London: Stockton Publisher, 1985), 70.

²¹ Peter Day, org., *The Philosopher's Tree: Michael Faraday's Life and work in his own Words* (Bristol; Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1999), 191.

²² Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 758-759.

o estudioso britânico, a eletricidade induzia o magnetismo através de quantidades absolutas de cargas, ou seja, quantidades absolutas de eletricidade associadas às partículas ou átomos da matéria.

Dessa maneira, reforçava a concepção de que as forças polares conservavam a quantidade de ação. Faraday admitia ser uma condição espacial para a condução da matéria ordinária, em razão de uma reação ou resistência à matéria, sem a qual as forças não poderiam existir como relações ponderáveis de polaridade.²³

Esses aspectos indicam, necessariamente, inserções mais profundas na teoria de campo de força física, pois Faraday demonstrou, nessa época, que a eletricidade e o magnetismo se auto sustentavam. Nesse caso, os campos eletromagnéticos sofriam distúrbios e variavam pela ação da condução de corpos materiais, através das linhas de força, estabelecendo as correntes elétricas.²⁴ Pode-se juntar à questão dos campos elétricos e magnéticos o efeito de suas variações que produziam vibrações através do espaço, sob a forma de luz.²⁵

Esses procedimentos viabilizaram o relato, claro e objetivo, da construção filosófica, de forma consistente, acessível e simples, que levou Faraday a analisar as especificidades e as complexidades nos diversos resultados experimentais do eletromagnetismo.

A metodologia, aqui discutida, expressava e sustentava, de forma adequada, os pressupostos formais que eram exigidos para conceituar as investigações experimentais, de natureza eletromagnética, como expressão científica.

O pesquisador britânico consubstanciava, através desse novo discurso, um eixo processual diferenciador, construído por procedimentos inovadores. Sendo assim, as representações teórico-experimentais de Faraday continham, explicitamente, a linguagem da mediação. Essa linguagem estava ligada a uma estratégia que fomentava as formulações pertinentes às hipóteses estruturais das configurações eletromagnéticas, refletidas nas linhas de força física.

O discurso, aqui apresentado, mostra-nos a importância da exploração dos significados físicos através de modelos geométricos, bem como as elaborações mentais do estudioso britânico. Técnicas especificamente elaboradas através de uma série didática de modelos visuais, que compuseram a indispensável formulação conceitual da matéria eletromagnética. Em referido conceito, estavam suas principais características e variações, mensuradas em relação às variáveis, pressão, coesão, densidade e temperatura.

Os procedimentos e métodos adotados conferiram, aos experimentos, estruturas mais adequadas a cada novo estudo, de onde resultavam modelagens e conceitos ainda mais específicos. As generalizações metodológicas, além do uso das analogias dos processos mentais, constituíram-se

²³ Cantor, *Michael Faraday*, 87-89.

²⁴ Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 528, § 1709-1710.

²⁵ *Ibid.*, 830-831.

como agentes de vital importância para a divulgação das novas proposições, argumentos e das convicções nos estudos do eletromagnetismo da *Royal Institution* do século XIX.

A discussão sobre a polaridade levou Michael Faraday a sérios julgamentos em torno desse conceito em relação aos seus contemporâneos. Argumentava que o significado do termo polaridade tornava-se cada vez mais incerto. Wilhelm Weber, William Thomson (Lord Kelvin), Auguste De la Rive, Carlo Matteucci, Carlo Moscati, entre outros, fundamentavam-se nos pressupostos de polaridade relativo ao magnetismo enquanto interação de correntes elétricas, as quais apresentavam, experimentalmente, magnetização de atração e repulsão. Isso constituía para Ampère a polaridade, mas esse conceito permanecia inadequado para Faraday, no que se refere ao construto teórico e prático da concepção de polaridade. William Thomson discordava quanto à visão da polaridade magnética, defendida por Faraday. Para Thomson, dois corpos não apresentavam condições antitéticas em fenômenos semelhantes que, necessariamente, fossem o reverso de um em relação ao outro, o que, dessa maneira, fazia com que não pudesse ser denominado de “estado polar”.

O debate alcançava os conceitos de preenchimento material do espaço, continuamente, pelas forças. Esse conceito, de que as linhas de força magnética se propagavam transversalmente no espaço puro, de forma natural, foi desenvolvido depois de 1850.²⁶ Para Faraday, um mero espaço não poderia agir sobre a matéria, logo seu comportamento era independente.²⁷

Faraday, a respeito aos conceitos de Wilhelm Weber, mostrava as razões e semelhanças com a hipótese de Ampère. Nela, a ideia de eletricidade “indefinida” entre as partículas, embora associada e inseparável da massa do corpo, sob indução, possuía clareza. O estudioso britânico da *Royal Institution*, no entanto, propunha que as linhas físicas deviam justificar esse tipo de polaridade, denominando-a de polaridade comum. Porém, para Faraday, a verdadeira polaridade era algo bem mais distinto.²⁸

Na verdade, os contemporâneos de M. Faraday não concordavam que dois corpos, sob o poder de um eletromagneto, poderiam, por suas ações mútuas e pelas peculiaridades citadas, apresentar polaridades reversas, as quais se delineavam nos corpos magnéticos, para e diamagnéticos. Faraday opunha-se à ideia de uma fonte de ação polar induzida, agindo através de uma espécie de fluido magnético.²⁹

Faraday argumentava que, nesse conteúdo teórico, avaliar a polaridade, de um modo geral, não dependia só do magneto ou do eletromagneto dominante, mas também das circunvizinhanças.

²⁶ Ibid., 685, § 2787.

²⁷ Ibid., 686, § 2789.

²⁸ Ibid., 832-833, § 3307-3309.

²⁹ Ibid., 599, § 2183.

Outros estudiosos também concordavam com isso, ou seja, da importância do espaço em torno do corpo quando submetido à ação de um campo magnético.³⁰

Propunha que a distinção de uma verdadeira polaridade dependia da curvatura das linhas, devido a uma melhor ou pior condução da força gerada pelos eletromagnetos em relação às substâncias presentes no fenômeno. Tais substâncias eram provenientes de resíduos de susceptibilidade magnética intrínseca.³¹ Algumas substâncias paramagnéticas, como o oxigênio, ao serem introduzidas num campo magnético uniforme e, originalmente, num bom vácuo, provocavam certa concentração nas linhas de força, fluindo através de campos de força magnética.³²

Dessa maneira, o espaço ocupado pelo material transmitia mais energia magnética. Outras substâncias, como o bismuto, concentravam-se transversalmente nas linhas desses campos de força, expulsando as linhas de força de "poderes" iguais de seu interior. Dessa forma, conduzia baixa energia à substância diamagnética.³³

Para Faraday, a influência dos corpos magnéticos, para e diamagnéticos, vistos como condutores, alteravam as configurações das linhas magnéticas e a energia do campo. Quando ocorria a mudança da posição do corpo, no campo de força, variava de intensidade.³⁴

De tais pressupostos, confirmava-se que os efeitos magnéticos aconteciam em proporção direta à intensidade da força magnética, como identificado pela intensificação visual das linhas de força. Esse conceito que Faraday denomina de ação concentrada, e que correspondia a um aumento na densidade das linhas de força física, diminuindo o raio de propagação.³⁵ Justificava, também, os mesmos efeitos magnéticos indesejáveis, além das variantes geradas pela susceptibilidade magnética dos corpos interagindo com o próprio campo magnético. Conforme a argumentação de Faraday:

“As importantes diferenças, no grau de susceptibilidade magnética, são condições às quais os gases empregam ou podem assumir, por esse motivo eles não apresentam mudanças de volume sob a ação de magnetos.”³⁶

A busca de um modelo de unificação das forças da natureza norteava os estudos de Michael Faraday. Pois, para ele, a prioridade das várias formas, sob as quais as forças da matéria se manifestavam, tinha uma origem comum. Assim sendo, todas as forças interagiam na matéria. Isso

³⁰ Ibid., 776, § 3165-3166.

³¹ Ibid., 679, § 2752.

³² Ibid., 682, § 2770.

³³ Ibid., 837, § 3320-3321.

³⁴ Ibid., 598-602, § 2806-2831.

³⁵ David Gooding, “Empiricism in Practice: Teleology, Economy, and Observation in Faraday’s Physics,” *ISIS* (1982): 53.

³⁶ Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 587, § 2752, Série XXV de 1850. Ver também sobre os distúrbios em campos magnéticos causados pela condução de corpos diamagnéticos e paramagnéticos, Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 598 § 2806 e 602, § 2831.

dependia das relações mútuas de convertibilidade, como se estivessem dentro uma da outra, possuindo “poderes” equivalentes nas ações dos fenômenos físicos.³⁷

Com base nas estruturas teórico-experimentais, analisadas e relatadas nos parágrafos anteriores, sugere-se que a teoria fundamental do eletromagnetismo de Michael Faraday tenha se estruturado a partir de quatro pilares. Seus fundamentos básicos seriam as linhas de força (um conceito relacionado ao princípio de campo); a conversibilidade por indução (magnetismo em eletricidade); a convertibilidade relacionada às altas temperaturas (magnetismo em diamagnetismo), e o questionamento sobre matéria e polaridade, em relação às estruturas moleculares e às suas interações distintas.

Gooding, neste tópico, faz um sumário pertinente à construção de um modelo de ondas para a teoria eletromagnética, desenvolvido por Faraday, visto que ele estaria plenamente convencido de que a eletricidade e o magnetismo eram ondas que se propagavam naturalmente nas circunvizinhanças de campos magnéticos³⁸. No entanto, o melhor resultado conhecido dessa convicção foi a concepção de interação entre eletricidade, magnetismo, calor, luz ou movimento como elementos mutuamente conversíveis de um mesmo processo contínuo, uma espécie de onda eletromagnética.³⁹

Sobre os experimentos e conclusões finais da magnetização da luz, em 5 de novembro de 1845, Michael Faraday submeteu um artigo para *Royal Society*, intitulado *On the Magnetization of Light and the Illumination of Magnetic Lines of Force*. Nele, confirmava sua opinião de longos anos sobre a origem comum das forças da Natureza, a conversibilidade e a equivalência de poderes ou capacidades dessas forças. Demonstraria que esse efeito observado com o experimento de borossilicato de chumbo (Atual vidro Pirex) foi, também, exibido com outros corpos materiais. Nesse caso, a direção da rotação do plano de polarização dependia, sobretudo, da direção do campo magnético. Isso, na verdade, trata-se do Efeito Faraday.⁴⁰

Tweney (1992, p. 155) referencia que as abordagens de Faraday pressupunham que a manifestação da ordem natural dos fenômenos magnético e a luz, aparentemente, surgia de um nível macro generalizados por ações conjuntas de processos de nível micro. Para entender tais fenômenos, requeria uma participação de interações no universo “pequeno” seguido de uma reintegração no universo mais amplo. Faraday, entretanto, afirmava com forte convicção que os poderes inerentes à matéria deveriam ser considerados, dali por diante, em toda e qualquer ação de forças. Não apenas

³⁷ David Gooding, “Empiricism in Practice,” 63.

³⁸ L. Pearce William, “Faraday’s Discovery of Electromagnetic Induction,” *Contemporary Physics* 5, nº 32 (mar. 1963): 538-539. Faraday escreveu sobre uma espécie de inundação, uma torrente na transmissão da força magnética ou “fluxo de poder” marcado pelas linhas de força e comparava o mesmo efeito em magnetos ligados a um circuito galvânico, onde o magneto era a fonte de poder; o meio circundante desempenhava o papel do fio que conectava a transmissão da corrente magnética. Um magneto era descrito como a “habitação das linhas de força”.

³⁹ David Gooding, “Mathematics and Method in Faraday’s Experiments,” *Physis*, XXIX (1992): 129-130 e 142-143.

⁴⁰ John Meurig, *Michael Faraday and the Royal Institution: The Genius of Man and Place* (Bristol; Philadelphia: A. Hilger, 1991), 68-69. Vide também James Hamilton, *The Life* (London: Harper Collins Publishers, 2002), 327.

por serem importantes, mas por serem essenciais ao estudo das relações entre os fenômenos magnéticos e a matéria. Usando as palavras de Faraday:

“A matéria não pode ser afetada pelas forças magnéticas sem a existência dela própria envolvida no fenômeno, e exercida em torno dela devido à sua influência sob a força magnética.”⁴¹

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em diversos momentos deste trabalho sobre o “Efeito Faraday”, salientou-se que os textos de divulgação e/ou os seminários deveriam focar nas características e análise vinculadas ao contexto, ou ao contorno histórico referente aos estudos do eletromagnetismo. Todavia, foram traçados também alguns temas cujas discussões, apesar de calorosas, necessitavam de mais imersão conceitual para que os participantes pudessem adquirir uma melhor compreensão, ou seja, mais consistência com relação às questões historiográficas e epistêmica. Naturalmente, carentes de estudos mais detalhados conceitualmente por se tratar de uma pesquisa a nível de formação, apenas.

Concluiu-se que quatro importantes conceitos reforçaram a teoria eletromagnética geral de Faraday, desenvolvida progressivamente e impulsionada pelos estudos do efeito magnético girar o plano de polarização da luz. Entretanto, nada se pode avaliar com respeito aos desdobramentos da questão da teoria dos campos elétrico e magnético, apesar de termos estudado e discutido as questões chave que proporcionaram a formulação de um modelo particular sobre a condutividade magnética das diversas substâncias nas linhas de força, pelo estudioso britânico. Na verdade, tratava-se de uma susceptibilidade magnética específica de cada estrutura material.⁴²

Idealizou-se realizar outros seminários versando sobre as construções teóricas e experimentais de Michael Faraday, que norteariam a busca de um modelo de unificação das forças da natureza. Sob as diversas formas, as quais as forças da matéria elétrica e magnética manifestavam-se de uma origem comum, como já fora citado anteriormente. Pois bem, a unicidade de todas as forças, incluindo a luz e as demais forças da natureza, dependiam, conforme Faraday, das relações mútuas da conversibilidade governadas pelos “poderes”, que preenchem os espaços como se fossem unos, contínuos, físicos. Tais pressupostos não puderam ser analisados nesse grupo de pesquisa. Finalizou-se parte desse projeto de forma que não se poderia adentrar em assunto mais denso, pois estava fora dos objetivos gerais conceituais. Mas os alunos puderam observar as considerações que estruturaram uma metodologia baseada em uma construção mental através do aperfeiçoamento, na busca pelo conhecimento das relações intrínsecas entre as forças que regem a Natureza. Conclui-se que a

⁴¹ Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 538, § 2442.

⁴² *Ibid.*, 587, § 2752, das Séries XXV de 1850.

indução e a teoria de campo, a gravidade, a coesão e a polaridade das interações conversíveis e da ação química interligam-se na síntese do eletromagnetismo de Faraday, como uma unidade padrão.

É interessante salientar que essa interligação com os aspectos das ações mútuas entre matéria ponderável e matéria imponderável, a luz nas linhas de força física foram relacionadas à ação magnética ser dependente do envolvimento com a matéria. Ainda, nesse caso, foi finalizado o estudo com o ensaio *Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter* de Faraday. Assim, fez-se necessário um estudo de fronteiras sobre os conceitos mutuais que o estudioso britânico havia denominado de “poderes” como algo proveniente da criação⁴³. Como parte do último seminário, discutiu-se as concepções que fundamentariam as bases dos estudos sobre o eletromagnetismo no geral. Isso tudo sugeriu o formalismo que relaciona as diferenças, bem como a importância das especificidades e características próprias de cada corpo físico material (matéria ponderável). Naturalmente, esses corpos seriam também constituídos de quantidades de “poderes” de um embrião do conceito de energia, manifestados nas linhas de força física.

SOBRE OS AUTORES:

João B. A. dos Reis

Doutor em História da Ciência - Centro Universitário de Caratinga - UNEC

Fernando Rodrigues Silva

Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Caratinga – UNEC

Wellington Silva Vieira

Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Caratinga – UNEC

Artigo recebido em 11 de setembro de 2017
Aceito para publicação em 23 de janeiro de 2018

⁴³ Ibid., 761.