

Experimentos, elaboração e reelaborações na construção da teoria eletromagnética: linhas física de força, campos, paramagnetismo e diamagnetismo

João Batista Alves dos Reis

Resumo

*Este estudo objetivou basicamente identificar as trilhas e reflexões nas interfaces da pesquisa aplicada em História da Ciência e Ensino, sobre os procedimentos teórico-experimentais na Royal Institution of Great Britain (RI), Londres de 1831 a 1854. Enfoque principal: a doutrina e a natureza dos experimentos de Michael Faraday (1791-1867) relativos às questões do uso de modelos, argumentação e das investigações presentes no *Experimental Researches in Electricity (ERE)*, e na *Lecture Observations on Mental Education (1854)* e dois capítulos do autor deste estudo, intitulados: “Michael Faraday: diferentes formas de pensar o experimento” e “ ‘Anomalias de Polaridade’, novas linguagens, a ‘físico-química’, luz e o ‘efeito coloidal’ em Michael Faraday”. Visando compatibilizar as interfaces das tendências didático-pedagógicas no Ensino e as perspectivas em História da Ciência, estratégias para a inserção da História da Ciência e Ensino, em cursos de Licenciatura e Bacharelado ênfase no estudo da estrutura e construção da teoria eletromagnética, ou seja, da importância das linhas de força física, dos campos elétrico e magnético, do paramagnetismo e diamagnetismo. Intensificou-se atenção a uma espécie de geometria rudimentar dinâmica, enfática e utilitária, avaliando as configurações e comportamento inerentes aos experimentos metodologicamente submetidos às linhas imaginárias das forças eletromagnéticas. Processos interativos, diálogos planejados, e multidisciplinares, ministrados em 4 (quatro) blocos de 15 (quinze) minutos cada e duas etapas de discussão aberta aos grupos participantes sobre a interpretação de uma fase teórica sob o olhar das emoções entre História da Ciência e Ensino para a inserção dos embasamentos teóricos, linguagem direta, dinâmica e contextualizada.*

Palavras-chave: Eletromagnetismo; História da Ciência e Ensino; Michael Faraday

Abstract

*This study basically aimed to identify paths and reflections at the interfaces applied research in the History of Science and Teaching, theoretical-experimental procedure at the Royal Institution of Great Britain (RI), London, from 1831 to 1854. Main focus: The doctrine and nature of Michael Faraday's experiments concerning the questions and use of models, argumentation, and investigations present in *Experimental Researches in Electricity* and *Observations on Mental Education (1854)* and two chapters by the author of this study entitled “Michael Faraday (1791-1867): different ways of thinking about the experiment” and “ ‘Polarity Anomalies’, new Languages, ‘Physical Chemistry’, light and the ‘colloidal effect’ in Michael Faraday”. Aiming to reconcile the interfaces of the didactic pedagogical tendencies in Teaching and the perspectives in History of Science, strategies for the insertion of the History of Science and Teaching, in Degree and Bachelor courses, emphasis on the study structure and construction of the electromagnetic theory, that is, the importance of lines of physical force, electric and magnetic fields, paramagnetism and diamagnetism. Attention was intensified to a kind of dynamics, emphatic, and utilitarian rudimentary geometry, evaluating the configurations and behavior inherent to experiments methodologically submitted to the imaginary lines of electromagnetic forces. Interactive processes, planned, multidisciplinary dialogues, taught in four blocks of fifteen minutes each and two stages of open discussion to the participating groups on the interpretation of a theoretical phase from the perspective of emotions between History of Science and Teaching for the insertion of theoretical foundations, direct, dynamics, and contextualized language.*

Keywords: Electromagnetism; History of Science and Teaching; Michael Faraday.

Introdução

O projeto arquitetônico, elaborado por Michael Faraday (1791-1867), um estudioso britânico, para estudar a matéria eletromagnética orientou a elaboração e a revisão de um processo caracterizado pela verificação articulada de novas técnicas de observação. Os blocos interativos deste trabalho, teve como na apresentação o desenvolvimento da discussão que compõem diálogos planejados, e multidisciplinares, cuja interpretação constituiu-se de uma fase teórica sob o olhar entre História da Ciência e Ensino para a inserção dos embasamentos teóricos, linguagem direta, dinâmica e contextualizada. Todos os aparatos sistêmicos e pedagógicos refletem as técnicas sobre os aspectos teórico-experimental utilizados nas investigações, desse estudioso britânico, no subsolo da *Royal Institution of Great Britain* (RI), quando de seus estudos sobre as linhas de força física, ou linhas de indução, bem como na configuração da sua teoria de campo de força física. Nos quatro seminários, diversos aspectos da elaboração e reelaboração das ideias da unificação da eletricidade e magnetismo [o eletromagnetismo], as quais, foram exaustivamente elucidados nas discussões dos grupos de estudos.

Nesse caso, referimo-nos basicamente, às considerações experimentais e teóricas, com relação às linhas de força física, foram divulgadas por Faraday, através da publicação da décima primeira série do *Experimental Researches in Electricity* (ERE), publicada em 29 de março de 1838. Nesse registro, encontram-se as ideias de Faraday sobre a indução elétrica agir continuamente nas partículas. Em sua argumentação, atribui esse fato aos poderes inerentes a matéria inorgânica.¹

Ele 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”.

[...] 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 de curvas magnéticas e, que, igualmente existem como se estivessem passando de ou para os polos magnéticos, ou formando círculos concêntricos ao redor de uma corrente elétrica. Por *linhas de força elétrica*, defino a força empenhada nas linhas unindo dois

¹ Michael Faraday, “Experimental Researches in Electricity”. In: Hutchins, R. M. (Ed.). *Great books of the western world: Lavoisier, Fourier, Faraday* Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952 [1839]. v. 45. ERE, pp. 440-442, parágrafos 1169 e 1170.

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*. [...].²

Tratava-se de um conjunto de explicações quantitativas e qualitativas. Todavia, tudo isso, o levaria ao desenvolvimento de representações geométricas especiais para estudar as relações entre a eletricidade, magnetismo, movimento, indução e os efeitos ópticos da magnetização da luz. Utilizando “sensores” ou – “substâncias examinadoras” – monitorava as características inerentes e intrínsecas das matérias elétrica e magnética, instrumentos teste ou corpos de prova. Esse processo resultou um aspecto metodológico diferenciado. Tais procedimentos aproximavam as fontes observacionais, que se acreditava como sendo o principal agente processual dos estudos dele, no período citado.

As considerações de David Gooding, ao abordar os estudos de Michael Faraday ao longo de sua vida, as realizações epistemológicas se adequavam aos aspectos de um estudo criativo e topológico, constituído por uma visão tradicional de ciência daquela época. Ciência na qual a metafísica e a teologia eram influentes fatores estruturais da teorização científica, nos trabalhos desse estudioso britânico, pela prática “empiricista”.³

Todavia, evidencia-se características cruciais no desenvolvimento da teoria das linhas de força física, ou seja, a experimentação dependia de fundamentos e suportes que orientassem a construção de padrões experimentais, cuja interpretação das peculiaridades era dada pelo efeito observado. Desta forma, após 1938 até 1945, Faraday elaborou e reelaborou os resultados experimentais, anteriores aos anos citados, refinando-os quanto à questão conceitual, na busca do aperfeiçoamento para melhor esclarecer as evidências e o entendimento, arquitetura metodológica do arsenal teórico-experimental de Faraday. Apesar de que as suas primeiras ideias foram expressas em seu artigo *On Induction* de 1837 – Séries Décima Primeira (parágrafo 1161, &c.)

Entre 1845 e 1854, conforme estudos no ERE, no corpo de seus parágrafos diversos, encontra-se as reelaborações dos estudos de 1821 a 1838 (verificação entre placas metálicas – capacitores – quando esse espaço era preenchido por um dielétrico, aumentava em valores numéricos a ação eletrostática, denominada por Faraday de constante dielétrica). Revisou antigos pressupostos, referentes aos princípios

² Faraday, ERE, Séries Dezenove de 20 de novembro de 1845, p. 595, parágrafo 2149. “Para mim significa dizer que a força magnética, é um exercício nas linhas usualmente chamadas de *curvas magnéticas*, e igualmente existem como se estivessem passando e/ou para 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, que podem também ser em linhas curvas ou retas. Por *diamagnético*, eu defino um corpo através do qual as linhas de força magnética estão passando, e por essa ação não concluem o estado magnético usual do ferro ou da pedra-ímã. ” Vide também, L. Pearce William, “Faraday’s Discovery of Electromagnetic Induction,” *Contemporary Physics* 5, nº 32 (mar. 1963): 538-539.

³ David Gooding, A convergence of Opinion on the Divergence of lines: Faraday and Thomson’s discussion of diamagnetism”, *ISIS*, 1982, 36:243-259. Idem, “Empiricism in Practice: Teleology, Economy, and Observation in Faraday’s Physics”, *ISIS*, 1989, p. 46.

do eletromagnetismo, e retornou ao tema referindo-se às questões da forma, das ações e da condução das matérias elétricas e magnéticas, nas diversas “atmosferas” ou “meios físicos”. Referindo-nos, nesse caso, aos estudos dos anos de 1834 e 1835, das Séries IX do *ERE*⁴. A partir de 1844, as questões relacionadas aos conceitos e condições da condução, das linhas de força, nos campos de força elétrica e magnética, inclusive, a divisão do magnetismo, convergência das linhas de força, paramagnetismo e divergência, diamagnetismo, e o eletromagnetismo de rotações, que veremos adiante.

Naquele momento, sob a influência da concepção do próprio Faraday sobre a autoindução de das correntes elétricas, ação indutiva das correntes, de um modo geral, fundamentaram os estudos de uma década (1844 a 1854), debruçado sobre reformular os conceitos da indução da eletricidade estática e do magnetismo.

Em 1854, esses estudos foram mais aceitos por seus contemporâneos. De acordo com Michael Faraday, acerca de um novo momento, afirmava que suas considerações incidiam sobre os preceitos teóricos e práticos, em relação às matérias elétricas e magnéticas:

[...] deverei solucionar alguns pontos tais como polaridade, dualidade, &c., enquanto as circunstâncias eram favoráveis devera empenhar-se nas considerações que seguem: 1. A confirmação pelos matemáticos da veracidade das abstratas linhas de força representando a direção e o total poder magnético; 2. Minha própria vantagem pessoal em numerosas ocasiões utilizar as linhas [de força como argumento] (parágrafo 3174) [do *ERE*]; 3. A analogia precisa da força magnética e de outros poderes duais, ou dos estados estático ou dinâmico, especialmente, de magneto com baterias voltaicas ou de quaisquer outras fontes para sustentar a permanência de uma corrente elétrica; 4. A idéia do éter magnético de Euler ou fluidos circulares; 5. A forte convicção expressa por Sir Isaac Newton, de que até mesmo a gravidade não pode produzir um efeito à distância se consideradas algumas interposições ou agentes que satisfaçam determinadas condições, nesse caso uma linha de força física; 6. O exemplo do conflito final da consolidação experimental das duas teorias da luz. Acredito que por ter usado a frase “espaços de força” tenha sido considerado por alguns como censurável, visto que, parecia dar a impressão de antecipar a decisão de que havia linhas de força em um meio físico. [...] ⁵

Com relação às questões matemáticas do eletromagnetismo, foi James Clerk Maxwell quem estabeleceu as justificativas e as considerações pertinentes aos trabalhos de Faraday. Ainda que tenham sido duas observações, no

⁴ Michael Faraday, “Experimental Researches in Electricity”, Vol 45, *Encyclopædia Britannica*, 1952, pp. 422-432.

⁵ *Ibid.*, p. 831, parágrafo 3305.

tema linhas de força física. Tornara-se importante apresentar que as cargas elétricas eram como substâncias incompressíveis, satisfaziam as equações de continuidade dos fluidos, pois as correntes se movimentavam como condutores. Na segunda, julgava a hipótese física como um “subtítulo analítico” de fórmulas matemáticas, que consistiam algumas vezes em “analogia física” e, em outras, num método newtoniano de dedução de forças, para compreender os fenômenos dos movimentos das cargas elétricas.⁶

Essas interpretações foram apresentadas por James C. Maxwell, na obra *On Faraday's Lines of Force*. Enfrentando o dilema entre a hipótese física e a pura interpretação matemática, Maxwell afirmava que:

[...]. Deve-se, no entanto, descobrir algum método de investigação que permita a nossa mente a cada etapa apreender claramente os conceitos físicos. [...].⁷

Geoffrey N. Cantor, referindo-se ao ano de 1831, aludindo ao ano de 1831, quando Faraday alcançou sua força experimental, a grande maioria dos físicos britânicos educados principalmente em Cambridge e no *Trinity College* de Dublin dedicavam-se ao desenvolvimento de um significativo número de trabalhos baseados puramente em formalismos matemáticos aplicados aos fenômenos físicos, discordando de abordagens que não contemplassem parâmetros matemáticos. Embora Faraday tenha alcançado sua máxima força experimental, pondera que a grande maioria dos filósofos naturais britânicos educados, principalmente, em Cambridge e no *Trinity College* de Dublin, dedicava-se ao desenvolvimento de um significativo número de trabalhos. Todos eles baseados apenas em formalismos matemáticos aplicados aos fenômenos físicos. Inclusive, no estudo do eletromagnetismo, havia discordância das abordagens que não contemplassem os critérios matemáticos.⁸

Os procedimentos e elaboração conceitual: “um modelo estruturalmente arquitetônico”

Os procedimentos usados por Michael Faraday, na elaboração de conceitos, nortearam o estudo do eletromagnetismo. Tornaram-se parâmetro síntese no qual suas pesquisas experimentais, implicitamente, configuravam-se numa linguagem, cujo processo também envolvia interpretações visuais. Assim, a estrutura

⁶ *Apud*, Mary B. Hesse, *The Structure of Scientific Inference: Maxwell's Logic of Analogy*, 1970, pp. 272-273.

⁷ Vide também James Clerk Maxwell, *A Treatise on electricity and Magnetism*. Vol. II, cap. IV, 1873, p. 55. *Ibid.*, p. 260-261.

⁸ Vide Geoffrey N. Cantor, “Reading the Book of Nature: The Relation Between Faraday's Religion and his Science”, in: David Gooding, *Faraday Rediscovered*, 1989, pp. 77-78. Vide também, David Gooding & Frank A. J. L. James, org., *Faraday Rediscovered: Essay on the Life and Work of Michael Faraday, 1791-1867*, 1989, pp. 9-10.

de seus estudos, ancorava-se através de uma construção conceitual, que justifica, a nossa denominação de um monumento arquitetônico, bem como metodologicamente compunham procedimentos inovadores, tais como, a reprodução de particularidades do universo natural, através da construção de “aparatos artificiais simuladores”.

Os argumentos de Faraday sobre as linhas de força física, para ele, elas descreviam configurações que foram incorporadas, a teoria dos campos elétricos e magnéticos variáveis, ou teoria oscilantes das forças. Propagando-se no espaço e se comportando como uma característica ondulatória, ainda necessitavam de um meio [físico].⁹

Conforme Geoffrey Cantor, Faraday esclareceu a noção da ação indutiva *contínua* através de um diagrama próprio. Em “A”, mostrava que a transmissão da indução entre os pontos *x* e *y* foram de partículas “contínuas” ou “contíguas”. Em “B”, entre os pontos *x* e *y*, reproduziu como seria a transmissão de uma ação a distância, que Faraday rejeitava.¹⁰

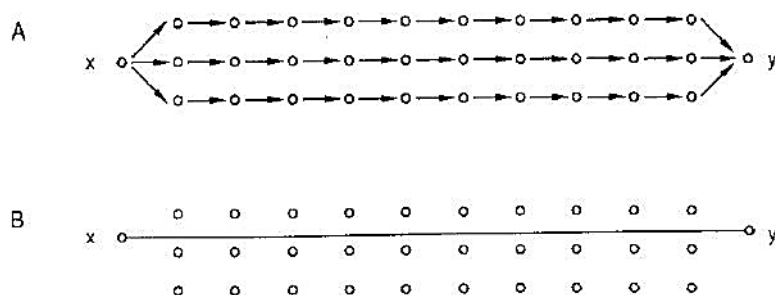


Figura 1: Conforme esse esboço, Faraday retomava ao tema dos experimentos de março de 1838 e ao tema da ação a distância retirado da obra de Geoffrey Cantor.

Conclui-se, então, que a descrição da condução da natureza eletromagnética fora definida por Faraday, de forma sistemática, demonstrava que os aspectos da ação mútua, uma espécie de elasticidade material, eram inerentes tanto às substâncias sólidas quanto às substâncias fluidas. Apresentavam, no entanto, concretas “anomalias de coesão” nos arranjos moleculares, quando estes estavam sujeitos a intensos campos de força magnética uniformes.¹¹ Era visível pela concentração das linhas de força, as quais configuravam as variações de intensidade, quando os campos de força uniformes, modificavam-se em campos de força variável. Em continuidade a esses estudos, Faraday definiu as linhas de força de um magneto, como curvas fechadas, que se afastavam dele, e retornavam a ele, concentrando-se próximas ao

⁹ David Gooding, “‘In Nature’s School’: Faraday as an Experimentalist”, in: David Gooding & Frank A. J. L. James (orgs), *Faraday Rediscovered: Essay on the Life and Work of Michael Faraday, 1791-1867*, 1989, pp. 106-107.

¹⁰ Geoffrey Cantor et al, *Michael Faraday: Sandemanian and Scientist*, 1991, p. 70.

¹¹ Michael Faraday, “Experimental Researches in Electricity”, 1952, parágrafos 691 e 1340.

mesmo. Assim, admitiu que, por algum tempo progressivo, os magnetos necessariamente influenciavam fortes perturbações no meio, e, que ocorriam interações entre a matéria e as forças da natureza.

Nesta discussão, referimo-nos a ideia de uma estrutura fibrosa, conforme Faraday, eram “tubos de força”. Esses apresentavam aspectos de sulcos configurando as linhas de força, definindo formas específicas para cada espécie de arranjo molecular.¹²

Ainda nesse contexto, com relação às correntes elétricas induzidas, estabeleceu-se, que em circuitos fechados, quando um magneto ou eletromagneto cilíndrico fosse interposto perpendicularmente entre aros feitos de fios metálicos de cobre, ferro ou barras de cristais de bismuto em posições opostas intermediadas, os polos interagem com o material, e este induzia o estabelecimento de uma corrente (em sentido horário “S” ou anti-horário “N”, na direção do outro polo). Assim, formavam-se os “tubos de forças”, estabelecendo um fluxo de indução eletromagnética.¹³ Cita-se que para justificar o termo indução, ele se refere comparativamente, principalmente, em relação aos efeitos da eletricidade estática.

Aqui menciona-se, como exemplo, as configurações das linhas de força confirmadas por efeitos eletrostáticos (figura 2)¹⁴. Nesse caso, usando os efeitos da luz estroboscópica, elas possibilitaram visualizar as linhas de força e, portanto, o comportamento da força física, na condução das descargas elétricas estáticas, entre esferas de aço com pontas na superfície, para facilitar a descarga e o ar.

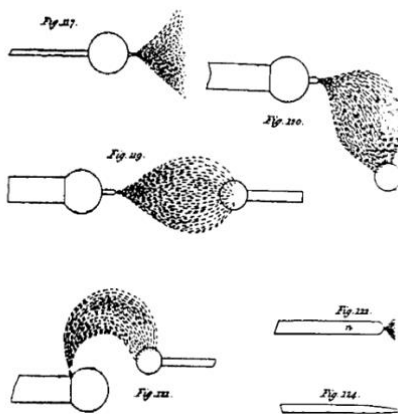


Figura 2: Esboços retirados da obra de Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity* do Plate X das Séries XII, datada de janeiro de 1838.

Esses esboços de Michael Faraday, sobre as configurações das linhas de indução estática, apresentavam uma forma difusa de centelhas elétricas, cada filamento das linhas, eram formadas por essas

¹² *Ibid.*, p. 819.

¹³ Michael Faraday, *Faraday's Diary*, vol. V, 1933, p. 209, parágrafos 10357-10359.

¹⁴ Michael Faraday, “*Experimental Researches in Electricity*”, 1952, p. 470. Vide também, os parágrafos 1231, 1297 e 1304. Sobre as relações das forças indutivas e da ação lateral.

centelhas, trilhas demonstravam o comportamento inerente à estrutura através de um meio material, estabelecendo nas linhas de força uma tensão típica.¹⁵ Em diferentes experimentos em diferentes atmosferas e meios elétricos e magnéticos.¹⁶

As configurações incidentes nessas” trilhas” sugeriam uma espécie de rigidez dielétrica, ou resistência à passagem da eletricidade, que dependia do meio. Além disso, Faraday ao observar que as trilhas se expandiam para os lados, interpretou que tal resistência também era indicada pela intensidade luminosa, exibida pela descarga. Nesse caso, a intensidade luminosa era proporcional à intensidade do campo.¹⁷ E a intensidade de campo variava em função das cargas, devido à qualidade do material isolante, recebia uma forte diferença de energia. Assim, um condensador, ou seja, duas placas condutoras separadas por um isolante, causavam essa “anomalia”. Percebeu, então, a necessidade de um meio condutor, pois, no ar ou no vácuo, a energia diminuía.¹⁸

A metodologia topológica, conforme Gooding argumenta, possibilitava visualizar as linhas de força, no caso das descargas elétricas, permitiu que Faraday inferisse relações similares de identidade entre eletricidade estática e as correntes contínuas (dinâmicas). Dessa forma, aplicava o método das linhas de indução magnética, também, ao fenômeno magnético (Figura 3)¹⁹.

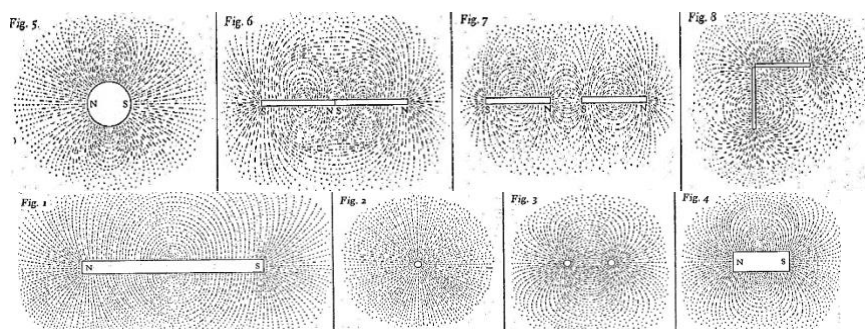


Figura 3: Esboços retirados da coletânea (Great Book of Western World) de Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity* do Plate XVI das Séries XXIX, p. 790 datada de dezembro de 1851.

¹⁵ Michael Faraday, *Faraday's Diary*, vol. VII, p. 307, parágrafo 13274. Experimentos sobre polaridade magnética, proposta por vários objetos metálicos em campos magnéticos com cilindros em excêntricas rotações e diversos aparatos. Vide, também, Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, p. 470. Experimentos de janeiro de 1838.

¹⁶ Michael Faraday, "Experimental Researches in Electricity", p. 312, parágrafos 335-337, vide também, p. 621, parágrafo 2362 e pp. 728-733, parágrafos 2969 e 2997.

¹⁷ *Ibid.*, p.819.

¹⁸ David Gooding, "Mathematics and Method in Faraday's Experiments", in: *PHYSIS*, 1989, p. 135-136. Vide também, David Gooding, "Faraday's contributions to field physics", 1991 *PHYSIS. World* 4 (9) 37.

¹⁹ Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, 1952, pp. 790-791.

Dessa forma, Faraday procurou visualizar as linhas de força, através da observação das configurações delineadas, em limalhas de ferro ou em pós de *lycopodium*, nas vizinhanças de magnetos e ou eletromagnetos de ferro doce, cobalto, níquel ou de aço, conforme as ilustrações da Figura 4.

O conceito de linhas de força física revela-se como a principal diretriz filosófica de Faraday, dos primórdios da construção de sua obra até o resto de sua vida.²⁰

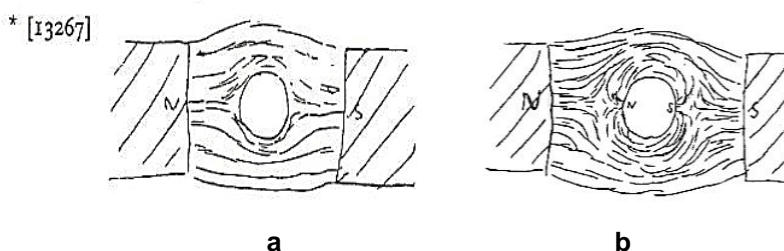


Figura 4: as figuras 4(a) e 4(b) reportam esboços relativos aos estudos sobre polaridade nas linhas de força, no caso em que uma esfera de aço provocaria nas linhas de forças deflexões.

Na continuidade desses estudos sobre as configurações das linhas de força, Faraday analisou o “efeito da indução”. Efeito esse que dependia de um intervalo de tempo, também progressivo. Se a esfera de aço ficasse envolta por mais tempo nas linhas de força de um campo magnético, as direções da geração dos fluxos definiam-se de norte a sul, conforme a figura 4(b). A esfera de aço era induzida a se polarizar.²¹ Pode-se considerar que Faraday utilizou a esfera de aço, nesse experimento, como “substância examinadora”.

Os procedimentos e métodos, adotados pelo estudioso britânico, resultavam em arranjos experimentais mais adequados e refinados a cada investigação, de onde resultavam modelos e conceitos mais específicos. As proposições que compõem a “Arquitetura Metodológica” de Michael Faraday,²² ou seja, uma modelagem que se configurou através da incorporação de argumentos e ideias, teve um crescente e exponencial uso durante o desenvolvimento de seus estudos, referentes às linhas de força física e as investigações do eletromagnetismo e da convergência e divergências nas linhas de forças da matéria magnética. A formulação original de Michael Faraday continua a ser, como declarava James Clerk Maxwell, ainda no século XIX, era a única que afirma somente o que se podia verificar pela experimentação. Além disso, a única pela qual se podia expressar a teoria dos fenômenos de maneira exata e, numericamente,

²⁰ L. Pearce Williams, “Faraday, Michael”, in: *Dictionary of Scientific Biography*, 1980, vol. 4, p. 535.

²¹ Michael Faraday, *Faraday’s Diary*, 1933, p. 305, parágrafo 13269.

²² Vide, por exemplo, J. B. A. dos Reis, “A teoria magnética de Michael Faraday: experimentos e ideias sobre o diamagnetismo”, *dissertação de mestrado*, PUC/SP, 2000, pp. 41-53. Vide também, J.B. A. dos Reis, “Um modelo teórico experimental sobre matéria, polaridade e cristais diamagnéticos: algumas ideias de Michael Faraday” in: *O Laboratório, a oficina e o Ateliê*, 1999, orgs, Ana Maria Alfonso-Golfarb, Maria Helena Roxo Beltran, (São Paulo: Edusp/Fapesp, 2002), pp. 141-168.

precisa, permanecendo, ao mesmo tempo, no âmbito dos métodos elementares de exposição. Citando Maxwell:

[...]. Após quase meio século de esforços desse tipo, podemos dizer, embora as aplicações práticas da descoberta de Faraday tenham aumentado e continuem a aumentar em número e valor a cada ano, não se descobriu nenhuma exceção à formulação que ele deu a essas leis, nenhuma nova lei lhes foi acrescentada. [...].²³

Os argumentos assimilados pela prática e o uso de “sensores”, ou “substâncias examinadoras” no monitorando de experimentos, constitui-se ser mais uma das diferenças no trato metodológico usado, experimentalmente, por Faraday, cuja finalidade era averiguar, minuciosamente, as propriedades e similaridades entre as matérias elétrica e magnética. Esses pontos se tornaram o foco principal na definição de eletricidade e magnetismo. Principalmente as conexões, em relação à essência da matéria eletromagnética, consolidaram, ao mesmo tempo, a idéia de unidade das forças da Natureza.

A unificação das forças através da noção de um Universo construído de forma harmônica

Em tese, afirma-se que Faraday sobre a interpretação da unificação das forças expressou a noção de um Universo construído de forma harmônica. Evidentemente, havia uma unidade, assim como leis regendo as forças que compuseram a origem. Alguns aspectos discutidos por Trevor H. Levere, relativos às reflexões de Faraday sobre átomos e forças, apontam até para influências religiosas.²⁴ Por outro lado, as abordagens de P. M. Heimann priorizam o enfoque sobre as questões relacionadas à construção da teoria da matéria e da eletricidade.²⁵

Para Michael Faraday, conforme o livro da Vida, foi Deus que criou e sustentava o Universo. Essa afirmativa implicava em um intencional plano de unificação, por meio de poderes e de forças. Seguramente, isso tudo deveria permanecer em consonância com o universo dos átomos considerados, por Faraday, como pontos de força.²⁹²⁶ Dessa forma, defendia a ideia de campo como uma região perturbada pela interação

²³ James Clerk Maxwell, *The Scientific Papers*. Vol. II, p. 786-793, Cambridge University Press, 1899.

²⁴ Trevor H. Levere, “Faraday, Matter, and Natural Theology - Reflections on an Unpublished Manuscript”, in: *The British Journal for the History of Science* Vol. 4 No. 14:1968, pp. 100. Michael Faraday, “Matter”, 19 de Feb. 1844. Este manuscrito encontra-se na biblioteca da *Institution of Electrical Engineers*, em Londres. Vide também L. P. Williams, Faraday and the structure of matter. *Contemporary Physics*, 2, p. 93-105, 1961.

²⁵ P.M. Heimann, “Faraday’s Theories of Matter and Electricity” in: *The British Journal for the History of Science*, Vol. 5 No. 14: 1968, pp. 235-257.

²⁶ *Ibid* Levere, pp. 100-101. Vide também Geoffrey Cantor, em “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

de forças, perpendiculares em cada ponto das linhas de indução, caracterizava a condutividade e fortalecia a concepção dinâmica do conceito de campo.

Porém, deve-se adiantar que os ensaios preliminares, do estudioso britânico, referentes ao conceito atomista, iniciaram-se conjuntamente aos ensinamentos de Humphry Davy, em 1812. Faraday, a princípio, entendia que a teoria do “atomismo de partículas centro de força” do jesuíta, astrônomo e matemático croata Ruder Josip Boscovich (1711-1787), poderia fundamentar as relações entre partículas condutoras, o primeiro contato foi na época em que participou de quatro conferências proferidas por Davy, na mesma instituição. Conforme Sonia Dion: a tentativa de transposição desse modelo corpuscular para os fenômenos da eletricidade gerava, segundo Faraday, uma contradição e exigia, além disso, que se atribuíssem ao espaço propriedades características da matéria: enquanto nas substâncias condutoras o espaço entre os átomos deveria comportar-se como condutor, naquelas não condutoras deveria agir como um isolante. E, na concepção de Faraday, matéria e espaço não se identificam.²⁷ Ainda, em Dion:

[...] A concepção de Boscovich era diferente da aceita pelos químicos da primeira metade do século XIX, os quais tomavam os átomos como sendo algo material, ocupando um certo volume e sendo separados uns dos outros pelo vazio. Pelo menos do ponto de vista descritivo, essa última concepção era coerente com a idéia newtoniana, segundo a qual os “átomos” consistiam de “partículas sólidas, maciças, duras, impenetráveis”, idéia essa desenvolvida por Newton na Questão 31 da *Óptica* (Newton, 2002, p. 290). [...] ²⁸

Admitir que todas as forças naturais estivessem submetidas a esse princípio singular, favorecia a concepção dinâmica, adotada teoricamente por Michael Faraday, sobre a matéria. Entretanto, algumas discussões sobre os argumentos desse estágio, citados por Trevor H. Levere, e Heimann conferem um sincronismo junto à teologia natural, que teria sido a responsável pela fundamentação dos propósitos da teoria da matéria de Michael Faraday. Essa teoria, de acordo com Levere, estava ligada à tese do atomismo, que identificava a matéria como constituída por pontos de forças, apesar de que desses debates surgiram opiniões antagônicas sobre o tema.

Concomitantemente, o conceito de afinidade ou força química, viriam a ser considerado, por Faraday, como suporte teórico da idéia de unidade das forças da natureza. Afinidade química ou força

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.

²⁷ Sonia Maria Dion, “Michael Faraday e o manuscrito Matter: uma solução metafísica para o problema da ação a distância”. *Documentos Científicos, Sci. stud.* 4 (4), São Paulo, 2006, p.617. Vide também Trevor H. Levere, *Affinity of Matter: Elements of Chemical Philosophy 1800-1865*, 1993, p. 74.

²⁸ *Ibid.* Sonia Maria Dion, *Sci.stud*, 2006, p.618.

química não era, meramente, um aspecto de uma unidade multifacetada, mas compunha a concepção teórica inerente à conservação dos “poderes da matéria”. Em outras palavras, a natureza necessitava da mesma quantidade de poderes, ou energia, para separar compostos binários tipo *AB* e *CD*, em seus elementos *A* e *B*, *C* e *D*. Ainda que a energia liberada quando *A* e *B* combinassem, para formar *AB*, fosse muito diferente da que é liberada na combinação entre *C* e *D*.²⁹

Baseado em seus estudos sobre a decomposição eletrolítica, principalmente, aqueles realizados entre junho de 1833 e dezembro de 1834, Faraday afirmava que a “afinidade química, ou força química era uma ação entre corpos diferentes”. Neste caso, “ela dependia inteiramente da energia com que as partículas de tipos diferentes se atraíam umas às outras”.³⁰ Ainda nesse contexto, conforme Michael Faraday, “o cobre e o cloro ligam-se por sua capacidade de afinidade química e produzem um corpo inteiramente diferente de qualquer das substâncias usadas. No caso de partículas de carbono e de oxigênio, elas *podem agir, mas não agem - são como uma vela apagada*, que fica quietinha até que queiramos acendê-la. Mas, não é o que acontece neste outro caso”.

Argumentos de Faraday, no contexto, uma substância gasosa como o oxigênio se for colocado junto a partículas de metal, ambas se combinarão imediatamente. O pedaço de carvão será aceso e introduzido no recipiente com oxigênio e a combustão se dará com intensas cintilações. “Esta ação química é acionada exatamente como se eu houvesse acendido uma vela, ou como acontece quando um criado põe o carvão na lareira e a acende; as substâncias esperam até que façamos algo que possa dar início à ação”³¹. Dessa forma, pode-se notar que, no pensamento de Faraday, o conceito das afinidades vinculou-se aos aspectos das forças elétricas e de coesão.³²

Nesse aspecto, Faraday seguiria o pensamento de seu mentor, Humphry Davy, como salienta David Knight, na obra *The Transcendental Part of Chemistry*: “Humphry Davy argumentava que a mecânica não era o bastante”. Isso porque a química era considerada uma ciência de poderes imateriais como a eletricidade. Além disso, nas primeiras explicações sobre a produção do calor e suas relações com as afinidades químicas, Davy apontava que tais fenômenos implicavam num problema de natureza elétrica.³³

A concepção de Michael Faraday sobre a matéria seguiu esse mesmo caminho. Abrangendo não só as características conceituais peculiares à matéria eletromagnética, Faraday elaborou com discernimento as particularidades, no que diz respeito à idéia de forças como a base estrutural da matéria. A teoria atomista, proposta pelo estudioso britânico, foi divulgada em carta datada de 25 de janeiro de 1844 enviada

²⁹ John Meurig, Thomas, *Michael Faraday and the Royal Institution: The Genius of Man and Place*, 1991, p. 49.

³⁰ Michael Faraday, *The Forces of Matter*, 1993, p. 47.

³¹ *Ibid.*, p. 55.

³² John Hudson, *The History of Chemistry*, London, 1994, p. 103.

³³ Levere, *op.cit.*, pp.62-64.

ao Esquire Richard Taylor, editor do *London and Edinburgh Philosophical Magazine*, no “Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter”.³⁴

Sendo assim, pode-se avaliar o cuidado que Faraday teve nas reflexões sobre a composição da matéria eletromagnética, considerando-se o seguinte trecho, citado por T. H. Levere e retirado da obra de Henry Bence Jones:

[...] Especulações, tentações perigosas, naturalmente evite-as, mas na hora de especular, como na de se privar, tudo depende do temperamento. (Eu) fui conduzido a considerar a natureza do espaço em relação à condução elétrica, isto é, como uma espécie de matéria *contínua*, consistindo de *partículas ou aquela intervindo e atuando no espaço* de acordo com sua suposta constituição. Considerando tais pontos, *fizemos comentários dessas suposições por toda parte.* [...] ³⁵

A convertibilidade da matéria magnética: o paramagnetismo e o diamagnetismo

O estudioso britânico retornou, então, aos estudos da condutividade magnética dos corpos nas vizinhanças, entre o meio e as linhas de força, realizados em 14 de setembro 1850. A convertibilidade da matéria magnética e os campos de indução magnética.

Os esboços ilustram os experimentos e as discussões fundamentaram os Seminários de História da Ciência e Ensino, os quais fizeram parte dos estudos de Faraday sobre a condutividade das forças magneto cristalinas e diamagnéticas. Nessa discussão, fazia nítidas alusões à dependência entre a direção tomada, pelos corpos nas linhas de força, e a direção assumida da polaridade. Exemplo disso, encontra-se em sua explicação sobre a ação dos magnetos nos cristais, através das forças magneto cristalinas, as quais se alinhavam ao longo das linhas de força magnética, o que indicava a existência de um estado de polaridade no cristal.⁴²

Confere-se, nesses experimentos, um típico caso de monitoramento através de substâncias ditas “examinadoras” de “vidros pesados”, compostos por borossilicato de chumbo (os atuais vidros refratários do

³⁴ Michael Faraday, “Experimental Researches in Electricity”, pp. 850-855, vide também Joseph Priestley, *The History and Present State of Electricity, with Original Experiment*, London, 1775. Bem como os Comentários de T. H. Levere, “Faraday, Matter, and Natural Theology - Reflections on an Unpublished Manuscript” in: *The Journal for the History of Science*. Vol. 4 no. 14, 1968, p. 97. Joseph Priestley, *The History and Present State of Electricity, with Original Experiment*, London, 1775.

³⁵ Vide o exemplo em Henry Bence Jones, *Life and Letters of Faraday*, 1870, 2 vols, pp. 177-179 e p.354. Vide T. H. Levere, *op.cit.*, p. 99.

⁴² Michael Faraday, ERE, p. 633 parágrafos 2454, p. 643, parágrafos 2529-2531 e p. 646, parágrafo 2550.

“Pyrex” são de borossilicato), eram melhores que os vidros *flint* e *crown* ⁴³. Foram confeccionados por Faraday e empregados nos diversos experimentos, para o estudo das interações de forças sobre os magnetos cristais, bem como, e na magnetização da luz.

Faraday também se utilizou do monitoramento nos estudos relacionados ao magnetismo, devido às ações e efeitos provenientes dos cristais magnéticos, das forças magneto cristalinas, do paramagnetismo e do diamagnetismo. ⁴⁴

As linhas de força eram definidas como reflexos das interações da matéria magnética, expondo a condição da condução e direção, tomadas pelas forças no campo.⁴⁵ Além disso, para Faraday, as substâncias “examinadoras” indicavam a posição tomada pela matéria, quando sujeita a intensa ação externa de campos de força uniformes. Em outras palavras, as substâncias “examinadores” funcionavam como “corpos de prova”, e auxiliavam a detectar as características, assim como as diferenças entre as forças cristalinas magnéticas, para e diamagnéticas, por influírem na configuração das linhas de força.

Utilizando-as como padrão para evidenciar, comparativamente, as diferenças peculiares entre os corpos ordinários, corpos magnéticos cristalinos e corpos para e diamagnéticos, ⁴⁶ as substâncias examinadoras foram usadas, por Michael Faraday, para desenvolver experimentos mais específicos. Experimentos que visavam analisar a natureza do magnetismo e suas propriedades, cujo objetivo era identificar as particularidades e características magnéticas para e diamagnéticas. As características da matéria ser conversível e unificável.

⁴³ *Ibid.*, p. 596-598, parágrafos 2151 e 2176. Vide dissertação, J.B.A. dos Reis, “A teoria magnética de Michael Faraday: experimentos e ideias sobre o diamagnetismo”, 2000, *dissertação de mestrado*, pp. 57-67.

⁴⁴ Michael Faraday, ERE, pp. 647-648. Vide também, J. B. A. dos Reis, “A teoria magnética de Michael Faraday: experimentos e ideias sobre o diamagnetismo”, 2000, pp. 76-89. Denominam-se *diamagnéticas* as substâncias que, não possuindo magnetização a campo zero, apresentam uma magnetização contrária ao campo aplicado, ou seja, uma susceptibilidade magnética negativa. Por outro lado, substâncias que, embora não apresentando magnetização espontânea (a campo nulo), magnetizam-se no mesmo sentido do campo aplicado, isto é, têm uma susceptibilidade magnética positiva, são chamadas *paramagnéticas*. De uma forma simplificada, a existência de cargas elétricas microscópicas numa substância (embora esta seja globalmente neutra), aliada à Lei de Lenz, parece justificar o *diamagnetismo*. A situação é mais complexa, pois a resposta diamagnética observada é a mesma para campos magnéticos estáticos. Por outro lado, o *paramagnetismo* só pode ser explicado se considerarmos a existência de momentos magnéticos microscópicos permanentes, embora a substância não apresente uma magnetização global.

⁴⁵ Vide, por exemplo, John Meurig Thomas, *Michael Faraday: And The Royal Institution*, 1997, pp. 212-219, Michael Faraday, “On the Physical Lines of Magnetic Force”, in: *Experimental Researches in Electricity*, 1952, p.16. Referindo-se ao tema no *Phil. Trans.* de 1852 e nos ensaios publicados no *Phil. Mag.*, 4th. Series, 1852, Vol. III, p. 401.

⁴⁶ Michael Faraday usou pela primeira vez, os conceitos de campo e de susceptibilidade magnética, no ERE respectivamente nas Séries XXI e XXV de dezembro de 1845 e em novembro de 1850, compõem o desenvolvimento e o conceito de diamagnetismo.

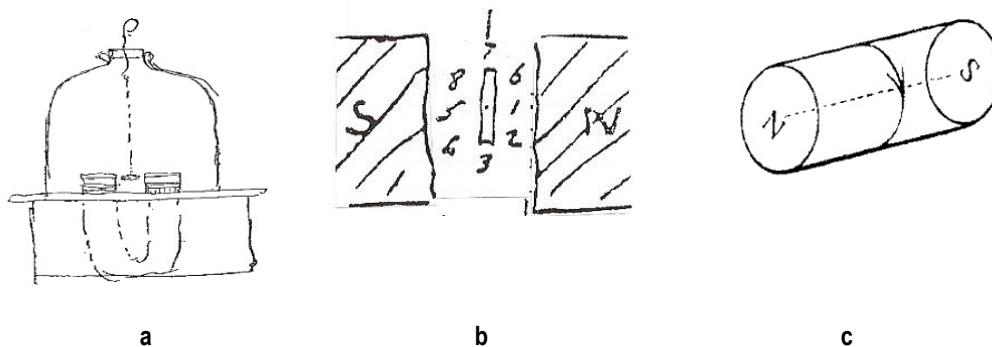


Figura 6: As figuras 6(a)⁴⁷, 6(b) e 6(c)⁴⁸ ilustram três esboços elaborados por Michael Faraday, referentes a experimentos planejados, seguindo uma sequência, e planejados para investigar aspectos de monitoramento de polaridades magnéticas através de examinadores.

Conforme mostram as ilustrações, no primeiro arranjo experimental um corpo conhecidamente diamagnético, presente no esboço da figura 6(a), foi suspenso por um fio de seda e preso a uma campânula de vidro, bem próximo dos polos de um eletromagneto do tipo “ferradura” (no formato de “U”). No segundo, uma barra de borossilicato de chumbo foi marcada com uma “seta”, indicando a direção que tomaria quando o efeito fosse magnético. As linhas N e S foram assinaladas como referência, para que fosse possível a observação das deflexões de campo de força, demonstradas pela figura (6 c).

Faraday usava fios de seda, ou de algodão, para medir o momento da força magnética entre os polos de magnetos e eletromagnetos. Assim, as figuras 6(a) e 6(b) reportam à montagem e resultados das deflexões de um cristal diamagnético. No esboço da figura (6c), demarcada por uma linha divisória, cuja finalidade era indicar a direção que o corpo tomaria nas linhas de força ⁴⁹, mostra-se o “corpo de prova”, que se encontra no experimento conforme a figura 6(b). Além disso, Faraday usava uma luneta direcionada ao corpo de prova, com o objetivo de discriminar as ações menos visíveis e incidentes no artefato experimental.

Faraday sabia que o efeito era mais pronunciado quanto mais forte fosse o eletromagneto e, também, quanto mais próximo dos polos estivessem os vidros transparentes de borossilicato de chumbo, ou os cristais de bismuto, bem como as demais substâncias magnéticas e paramagnéticas a serem examinadas. ⁵⁰ O uso das substâncias sensores, pelo estudioso britânico, tinha como objetivo compreender

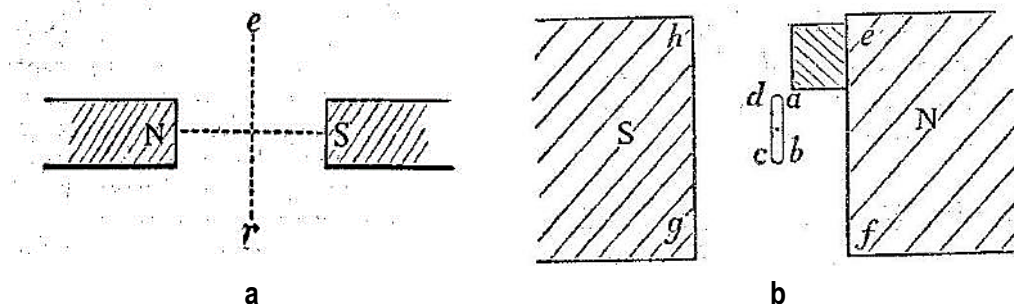
⁴⁷ Michael Faraday, *Faraday's Diary*, vol. V, 1933, p. 64-65, parágrafo 9447-9449. Esboço e descrição do experimento de 31 de agosto de 1848, figura 8(a). A figura 8(b) foi retirada da página 107, do *Faraday's Diary*, parágrafo 9745 de 25 de setembro de 1848.

⁴⁸ Michael Faraday, “Experimental Researches in Electricity”, 1952, p. 597, parágrafos 2160-2161.

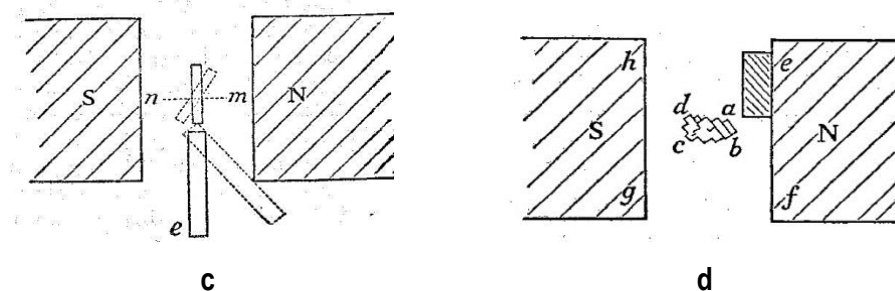
⁴⁹ *Ibid.*, p. 505 parágrafos 2161.

⁵⁰ *Ibid.*, pp. 516-527, principalmente nos parágrafos 2278, 2279, 2280, 2300 e 2301, os quais descrevem a utilização dos mesmos procedimentos experimentais para testar cristais de bismuto e várias substâncias diamagnéticas e paramagnéticas em formato de barras, cubos e esferas.

as particularidades mais íntimas da matéria, quando submetidas a campos de força física, nas investigações dos fenômenos eletromagnéticos. Pode-se melhor avaliar essas práticas analisando as figuras 7 (a, b, c, d).



A figura 7(a) mostra a organização inicial do processo de monitorar as examinadores ou sensores, encontra-se no ERE – página 608, parágrafo 2252. Na sequência, a figura 7(b) mostra um cristal de bismuto sendo afetado por um campo magnético, determinando uma posição axial, em relação ao magneto polo norte de um magneto acrescido de um quadrado de aço “e”, encontra no ERE, na página 637, e no parágrafo 2487.



Com relação à figura 7(c) configura-se o estudo da ação das forças magneto cristalinas num grupo de cristais diversos, inclusive, de bismuto. Apresentam repulsão entre si, sujeita a um campo de força magnético - ERE - página 638, parágrafo 2498. Finalmente, a figura 7(d) na mesma página parágrafo 2490.

Esses experimentos demonstravam as deflexões de um cristal de bismuto, determinado pelas linhas pontilhadas, quando sujeito a um campo de força magnético uniforme (forças iguais), na presença de uma barra de ferro. Citando Faraday:

[...]. Pequenos cristais de bismuto ou de arsênio tornaram-se úteis indicadores da direção sofrida pelas linhas de força nos campos de força magnéticos, ao mesmo tempo em que demonstravam as configurações do curso tomado pelo efeito da própria ação promotora da perturbação do sistema. [...].⁵¹

O ensaio de 1852, “On the Physical Character of the Lines of Force”, encontra-se no ERE, fomentou experimentos e argumentos, baseados no mesmo tema que se desenvolveu até 1854. Faraday

⁵¹ *Ibid.*, p. 637-639, parágrafos 2496 e 2497.

argumentava, nesse período, sobre a questão da magnetização da natureza de um modo geral, ou seja, a interação da matéria força e campo de força física.⁵²

De um modo geral, a obra de Faraday abordou os principais questionamentos básicos da primeira metade do século XIX. Procurou as respostas dentro de suas possibilidades, as mais diversas possíveis, a fim de manter a legibilidade da observação experimental da natureza material, que originava as forças unificadas. Assim como, na busca de encontrar um eixo mútuo e ordenador dos princípios unificadores das forças da natureza.

Considerações Finais

Os textos referenciados como divulgação dos conceitos teóricos-experimental do eletromagnetismo em Michael Faraday, do primeiro ao início do segundo quartel do XIX, foram introduzidos nas disciplinas de Filosofia da Ciência e de História da Ciência no Centro Universitário de Caratinga e apresentados na forma de seminários em cursos de Licenciatura e Bacharelado cuja característica e análise estavam vinculadas ao contexto, ou seja, dando ênfase ao estudo da estrutura construtiva da teoria eletromagnetismo sob o olhar historiográfico.

Concluiu-se que o desenvolvimento estruturalmente que foi idealizado, através de arranjos de uma arquitetura metodológica, teve uma dinâmica progressiva e impulsionada para o estudo e desdobramentos das questões chave relativas a teoria dos campos elétrico e magnético, apesar de termos estudado e discutido a formulação de um modelo particular sobre a condutividade magnética das diversas substâncias nas linhas de força, pelo estudioso britânico.

Na verdade, o instrumental textual e visual forneceu as trilhas concretas da teoria da susceptibilidade magnética específica em cada estrutura material. Pois, os textos de Faraday, nesse tema, incluíram a distribuição da carga, da matéria, além da noção da mudança de um lugar para outro, convergência e divergência. A visão de polaridade estava fundamentada na característica tomada por ela mesma em direção às forças. A partir desses trabalhos, diferentes tipos de materiais foram classificados como condutores, isolantes, bases do movimento livre ou resistência à condução dos constituintes materiais nas linhas de força física, intuindo a teorização dos dielétricos.

Tais pressupostos tiveram suas bases fundamentadas pela lógica dos limites, que governavam os fenômenos físicos, ou seja, o contexto experimental. Sob a perspectiva de analisar o pensamento científico de Michael Faraday, fortaleceram os objetivos dos seminários e os tornaram viáveis, a partir da elaboração e análise de textos específicos previamente escolhidos, grosso modo, um “armazenamento de informações de padrões” epistêmicos e embrionários para outras investigações. Derivando, a partir daí outros estudos

⁵² David Gooding, “Empiricism in Practice: Teleology, Economy, and Observation in Faraday’s Physics”, *ISIS*, 1982, 73 (266), pp.60-63.

sobre as vibrações e as tensões na matéria, os quais fizeram parte de um período especial de Faraday, que, naturalmente, conjugou também as leis preditas nas investigações sobre a decomposição eletroquímica.

O eletromagnetismo, ou seja, a unificação da eletricidade e magnetismo, a convertibilidade de substâncias magnéticas, em paramagnéticas e diamagnéticas, correlacionavam-se às variações de altas temperaturas, pela expressão física isenta de formalismo matemático e de diferentes ações de interações elétricas e magnéticas entre curtas distâncias contíguas.

Por outro lado, com base nesse raciocínio, correlacionando as forças e as deflexões das partículas à propagação delas nas linhas de força física, proporcionaram através dos estudos dos esboços apresentados nos textos, provocaram mudanças da compreensão cognitiva, relativas aos conceitos adquiridos pelos grupos envolvidos nessa pesquisa de cunho qualitativo formados sobre a temática da teoria de campo e as questões do eletromagnetismo do século passado. Reforçando, nesse caso, a inserção de embasamentos teóricos, linguagem direta, dinâmica contextualizada, da elaboração e reelaboração dos experimentos e conceitos, a convertibilidade e unificação da matéria, conforme foram protagonizados nos seminários propostos.

Sobre o Autor

João Batista Alves dos Reis

jreisfisica@gmail.com