

Arquitetura e Mapeamento da matéria diamagnética em Michael Faraday (1791-1867): meados do Século XIX

João Batista Alves dos Reis¹ (PQ)*

Centro Universitário de Caratinga, Av. Moacir de Matos, 49 - Centro, Caratinga - MG, 35300-047

Palavras-Chave: Diamagnetismo, Sensoriamento, Efeito Magneto-óptico.

RESUMO: Esta pesquisa discute a metodologia de Michael Faraday, de 1845 a 1850, sobre o monitoramento das substâncias denominadas por ele de diamagnéticas, envolvendo cristais de bismuto, vidros de borossilicato de chumbo (alta densidade), metais, elementos e vários compostos usados como substâncias "sensores", ou substâncias examinadoras. Faraday buscava identificar e demonstrar à comunidade científica uma nova condição de magnetização da matéria utilizando limalhas de ferro, pós de licopódio, bússolas, pêndulos que através das linhas de força pudessem explicar a matéria diamagnética. Em uma forte confluência com a química – objeto primeiro de interesse do autor. Faraday, debateu que eram devido à influência dos arranjos moleculares das substâncias diamagnéticas, que os campos magnéticos indicavam “anomalias de polaridade”, de maior ou menor repulsão entre os polos de magnetos. Esses temas e a construção histórica do diamagnetismo, são pouco abordados ou debatidos, através de um contexto histórico-social nos Livros Textos e nas aulas de química.

INTRODUÇÃO

Michael Faraday (1791-1867) desenvolveu procedimentos metodológicos com características próprias, planteando *designs* que levariam à construção de conceitos. Seguindo um extensivo programa de investigações, combinava criatividade com especulações, inferência com experimentação incisiva. (REIS, 2006, p.11).

Partindo das reflexões sobre os experimentos da matéria magnética, o estudioso britânico argumentava, conjugando indução, conversibilidade, ação progressiva e unicidade. Seguindo naturalmente a sequência referenciada. No entanto, fazia-se necessário, uma ideia consistente que vinculasse os pressupostos sobre a matéria de forma efetiva, ou seja, um método que se adequasse e reportasse as forças da Natureza, foi um dos pilares do pensamento de Faraday, o qual se manifestara desde a sua juventude. Em carta datada de 31 de dezembro de 1816, Faraday confidenciou ao amigo Benjamin Abbott, que:

O meu desejo é, se possível, tornar conhecido um método do qual escreverei sobre ele de forma fácil, natural e progressiva. Gostaria de, se possível, imitar uma árvore na sua progressão, partindo das raízes ao tronco, depois aos galhos, brotos e folhas, onde cada alteração seria feita com naturalidade e, mesmo que esse efeito fosse constantemente variado, ainda assim, o efeito seria preciso e determinado. (DAY, 1999, p. 17)

Ainda no mesmo contexto:

Assim como na vida, as ações são sempre progressivas, assim também todas as ações das forças da Natureza tendem à estabilidade permanente, tendo como resultado um ‘estado de repouso’, isto é uma condição estática dos poderes. (FARADAY, 1952, p. 836 § 3318 e 3319)

¹ jreisfisica@gmail.com

Nesta pesquisa, como parte de um *design* mais abrangente com relação aos aspectos cognitivos do estudioso britânico, foi inicialmente analisado o *Experimental Researches in Electricity* (ERE), obra que contém relatos dos experimentos e reflexões, registrados e apresentados por Faraday à *Royal Society*, nas notas compiladas, em seu diário intitulado *Faraday's Diary: Being the Various Philosophical Notes of Experimental Investigation*, organizado por T. Martin. Os exemplares supracitados foram consultados em sua versão impressa e nos manuscritos, que estão sob a guarda da *Royal Institution of Great Britain*. Na construção dessa pesquisa consultamos também, trechos de sua correspondência e obras de comentadores.²

Em Faraday (1952, p.620, § 2348) encontra-se o relato dos estudos sobre a influência e os efeitos das variações de temperaturas e características específicas sobre metais, denominadas de “estado diamagnético” (um estado anômalo), principalmente, grosso modo, quanto aos processos da estrutura do pensamento teórico e experimental, que foram direcionados às diferenciações metodológicas e conceituais nos estudos da matéria dita diamagnética, quanto aos aspectos da estrutura física e química, citando-o:

Expressei-me fundamentado nas diferentes temperaturas, que metais magnéticos pareciam perder o seu poder peculiar [...]. Os metais que são magnéticos retem uma parcela de seu poder, que após serem submetidos a grande mudança de temperatura, ou no que poderia ser chamado de seu estado diamagnético não ocorrem em outros metais, como o bismuto, estanho, etc., esses, não apresentam nenhum vestígio deste poder e, portanto, não estão na mesma condição do ferro aquecido, níquel ou cobalto; pois de fato, enquanto estes são axialmente atraídos, os outros, equatorialmente são repelidos.

Ainda Faraday (1952, pp. 631-632), no contexto, em 2 de fevereiro de 1846, adiciona nota e referências relacionadas às denominações de “*anomalias de polaridade*”, na Série XXI do ERE de 22 de dezembro de 1845, corroboram os parágrafos 2447 e 2448, sobre as substâncias que compunham a crosta terrestre serem diamagnéticas (continham “*anomalias de polaridade*”). Inclusive, sobre a influência delas, na água e nos sais de ferro, quando relatava as observações da ação de magnetos sobre metais e seus compostos. Cita que, esse efeito, já era conhecido através dos relatos publicados em Brugmans (1778, parágrafo 41), também, em M. Le Baillif (1827), Saijey (1828); e, no mesmo tema, Seebeck (1828).

Nesse interim, apenas como dado histórico nos referimos às obras citadas, diferentemente do trabalho de Faraday, o qual nos referimos à organização dos processos, modelos e ilustrações gráficas argumentando que, o estudioso britânico, utilizava-se, inclusive, de artefatos epistêmicos para formalizar o instrumental relativo aos procedimentos experimentais sobre as “*anomalias de polaridade*” reportadas sobre o bismuto. Principalmente, quando da ordenação dos vários experimentos cujos aspectos cognitivos foram usados para ratificar características e precisão relativas ao movimento e direção tomadas pelas substâncias diamagnéticas portadoras dessas “*anomalias de polaridade*”. Ou seja, incontestavelmente, opostas aos polos dos magnetos, fossem face *N* ou *S*, elas se comportavam anômalas, comparativamente, aos magnetos de um modo geral, ou em campos magnético externos. Conforme o diálogo entre o fato e o experimento em Faraday, trata-se de uma síntese orientada pela construção de imagens e reflexões sobre as configurações explicitadas nas linhas de força física. Trata-se, também, das generalizações através de modelos conceituais

² As traduções das citações são de responsabilidade do autor.

sobre a condição da condução, principalmente, do *bismuto* nos estados sólido e fluido envoltos em meios (*medium*) fluidos, de forma generalizada corroboram, grosso modo, com as observações sobre as deflexões das configurações e inclinações entre polos de magnetos, quando aproximados deles, *N* ou *S*. O bismuto era repelido sempre em posição oposta aos polos dos magnetos, conforme Faraday (1952, P. 638 § 2490). Bem como, no mesmo contexto, nesse caso, sobre as considerações experimentais reportadas pelo estudioso britânico, usando o *bismuto* como substância examinadora:

Em todos esses casos, [referindo-se aos experimentos], o bismuto, era diamagnético e fortemente repelido por um polo magnético ou por uma linha axial. Ele era afetado somente enquanto a força magnética estava presente. Fixava-se em uma dada posição constante, perfeitamente determinada, então, movia-se sempre retornando, exceto na extensão de um movimento, no qual, [o bismuto] estendia-se além de 90°; a parte [do bismuto] movia-se mais distante ao redor de uma nova posição diametralmente oposta à anterior, que então retinha com força igual, e da mesma maneira. Esse fenômeno foi geral em todos os resultados. Tenho que referir-me sobre ele e expressá-lo-ei pela palavra diametral; disposição diametral ou posição. (FARADAY, 1952, p. 634 § 2461)

John Meurig Thomas (1997, p. 212-219), quando, reporta-se, à denominação *linhas de força física*, argumenta que se originou do termo criado por Michael Faraday para expressar certas linhas, ou curvas magnéticas, que se formavam descrevendo as ações de forças elétricas e magnéticas, as quais, delineavam características intrínsecas, em limalhas de ferro espalhadas nas vizinhanças dos magnetos (ímãs). Como se fossem, a princípio, reflexos, ou melhor, configurações que reportavam as interações da matéria magnética referente à condição da condução e direção por ela tomada pelas forças magnéticas. Referindo-se ao tema no *Phil. Trans.* de 1852 e nos ensaios publicados no *Phil. Mag., 4th. Series*, 1852, Vol. III, p. 401. Principalmente, em Michael Faraday (1850) no ensaio "On the Physical Lines of Magnetic Force", publicado no *Experimental Researches in Electricity*, p. 816.

Bem como, em Geoffrey Cantor, David Gooding, and Frank A. J. L. James (1997, p.79), traçando paralelos com o conceito *linhas de força física*, referindo-nos às denominações primevas das substâncias diamagnéticas:

A princípio, Faraday as denominou de substâncias diamagnéticas, nomeadamente, de *diamagnetos*, mas, após consultar [William] Whewell (1794-1866): substâncias diamagnéticas, por analogia com os dielétricos. Esse termo também as distinguia dos ímãs comuns. O principal critério de identidade magnética de uma substância era se definir 'equatorialmente' ou cruzar as linhas de força, que as identificava como substância *diamagnética* ou "axialmente", ao longo das linhas de força, assim como os ímãs comuns. Faraday, em seguida, analisaria o comportamento dos *diamagnetos* mais de perto. As novas propriedades *magnéticas* existiam apenas enquanto o campo (de eletroímãs) estivesse ligado: ao contrário dos ímãs comuns, os *diamagnetos* deixavam de afetar uns aos outros, quando estavam presentes a fortes campos magnéticos.

Na prática, as pesquisas que foram efetuadas no laboratório da *Royal Institution of Great Britain* (RI) eram exercícios peculiares. Faraday desenvolveu uma linguagem técnica uniforme, a qual expressava naturalmente os novos conceitos da matéria diamagnética. Como argumenta Fisher (p. 166-169) Ele sugeria, ainda, que não se criassem expressões rebuscadas, que pudessem dificultar a compreensão do significado imaginário.

A escolha da metodologia do uso de substâncias examinadoras (*sensores*) estava centrada, principalmente, no estudo das configurações visuais, as quais haviam emergido da natureza do programa idealizado por Faraday, nos estudos da matéria eletromagnética (inicialmente denominada de *magneto-eletricidade*). A metodologia do modelo experimental, especificamente, neste caso, da matéria diamagnética, carecia de avaliações e exames com melhor aferimento para identificar as substâncias desconhecidamente diamagnéticas. Monitorá-las através do uso de um metal diamagnético padrão, tornou-se necessário. O bismuto, cujas características, eram bastante conhecidas na época como matéria diamagnética, justificaria então, os artifícios mecânicos e visuais, para caracterizar os aspectos estruturais do comportamento e similitudes das substâncias a serem examinadas nas linhas de força física sob ação de magnetos.

O porque desse artifício metodológico ser idealizado por Faraday, encontra-se no fato de que as conclusões, que se fundamentavam os procedimentos visuais referentes às configurações das linhas de força, suscitavam interpretações multifacetadas, em razão da inadequação à expressividade da representação visual, principalmente, quanto a razões de consistência e confiabilidade.

Citando Faraday (1952, p. 598 § 2174) de uma forma generalista, nesse contexto, referenciando-o à Série XIX do ERE, sobre as substâncias diamagnéticas, quando submetidas aos procedimentos de identificação magnética, todas elas, diferiam entre si relativamente quanto aos efeitos, fossem de origem química, físico ou mecânico com relação às propriedades inerentes à matéria que as compunham. Na continuidade cita, ainda, que as relações com os efeitos em sólidos e fluidos, tais como, nos ácidos, em álcalis, nos óleos, na água, nos alcoois, e no éter, elas, possuíam “poderes” em razão do grau de ação estabelecida pelos arranjos moleculares.

A MATÉRIA DIAMAGNÉTICA: UMA ABORDAGEM SOBRE POLARIDADE E CONDUÇÃO NAS LINHAS DE FORÇA

Embora Faraday tenha tentado, a princípio, interpretar o fenômeno do *diamagnetismo* apenas através da linguagem familiar das linhas de força, denominando-as de “*curvas diamagnéticas*”, reconhecia que o novo fenômeno tinha realmente, certa anomalia, no contexto de suas pressuposições gerais. Tal fenômeno seria mais bem definido em termos de linhas de indução magnética, uma afirmativa anterior de Heinrich Emil Lenz de 1834. Porém, com a realização de outros experimentos do gênero, Faraday pôde justificar com clareza certas disparidades conceituais oriundas daquelas afirmativas.

Percebe-se, no entanto, que o conceito de linhas de indução, nesse caso, não poderia ser usado apenas para descrever o alinhamento dos corpos diamagnéticos nas linhas de força, deveria também poder caracterizar a direção da polaridade e os movimentos inerentes e provenientes dos efeitos diamagnéticos, quanto à polaridade e posição no espaço magnético, ou *medium*. Principalmente sobre as configurações da condição da condução nas linhas de indução magnética, da ação dos ímãs e eletroímãs no espaço circundante (*medium*). Faraday (1952, p. 627 § 2423) não só as percebeu pela orientação de agulhas magnéticas, através do uso de limalhas de ferro, bem como, mediante os efeitos da indução “*magneto-elétrica*” e “*magneto-ótica*”,

usando a luz como examinadora, monitorando a identidade das ações e efeitos dos materiais diamagnéticos, quando sujeitos aos campos de indução utilizando a luz como referencial padrão de interação magnética com a matéria.

Confirmava-se nessa metodologia, o *design* de uma arquitetura teórica, na construção e desenvolvimento do conceito de “estado diamagnético”, já referenciados anteriormente, a partir dos experimentos planejados com o intuito de mapear os aspectos incidentes no espaço preenchido pelas interações de aspectos físicos e químicos, reportam-nos aos matizes inerentes à concepção filosófica de unicidade da matéria interligadas às ordenações da natureza conversível da matéria.

Faraday sugere, então, que a teoria fundamental do magnetismo estava edificada em quatro pilares cujos argumentos básicos, referendavam-se à condição da condução, o comportamento, das substâncias diamagnéticas nas linhas de força de indução magnética. Tornava-se um conceito inerente às ideias de campo: a convertibilidade pela indução, nesse caso, o magnetismo se convertia em eletricidade, assim como da convertibilidade da matéria magnética relacionada aos diamagnéticos, quando sujeitos as altas e baixas temperaturas. Isso tudo indicavam teoricamente, que todos os materiais magnéticos, nessas condições, convertiam-se em um “estado diamagnético”. Nesse particular, a posição reversa citada sobre a variância de polaridade dos materiais diamagnéticos, nas linhas de força, foi observada principalmente nos cristais de bismuto [padronizados em barras de 2 (duas) polegadas] nas palavras do estudioso britânico:

No empenho de compreender, com algum grau de precisão, o modo da ação de um *diamagnético* [...] No empenho, também, de confirmar a ideia de polaridade do bismuto e dos corpos diamagnéticos, quanto a direção reversa tomada por eles em relação aos magnetos. (FARADAY, 1952, p.615 § 2310)

E, com relação à abrangência teórica, citamos referências às abordagens e às tessituras necessárias em relação ao desenvolvimento conceitual das “*anomalias de polaridade*” da origem até a percepção conceptual inicial de Faraday (1952, p.634 § 2464) de que:

Um corpo diamagnético tende dos lugares de ação magnética mais fraca para os de forte ação e um corpo diamagnético sob as mesmas condições dos lugares de ação magnética forte para lugares de fraca ação.

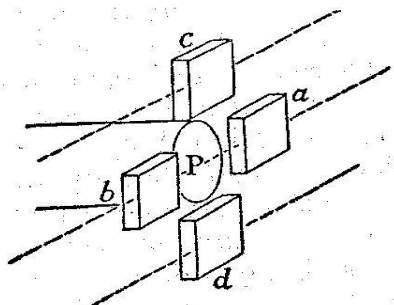


Fig.1

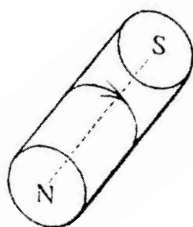


Fig.2

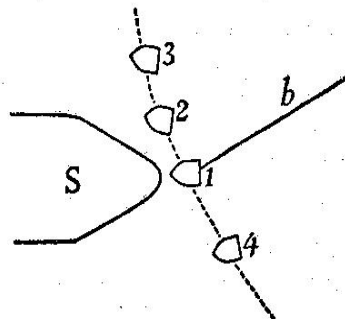


Fig.3

Na figura 1 identifica-se, nesse caso, o formalismo de um processo visual que Michael Faraday elaborou na perspectiva de indicar a direção, o comportamento para explicar as características e ideias inseridas nos experimentos com substâncias diamagnéticas e a luz. Na figura 2, exemplo de outro

experimento, no mesmo tema, com uma substância examinadora retirada do ERE, Faraday (1952, p. 597 § 2161). A Figura 3 refere-se, a um *magneto-cristal* sob a ação da fase S (Sul) de um magneto, suspenso por um pêndulo bifilar para demonstrar a ação de repulsão do bismuto. Quando, próximo ao magneto, indicava, também, uma forte indução. Nesse caso, o cristal de bismuto era repelido para a posição quatro (4), todo esse processo foi monitorado nas linhas de força física, os efeitos incidentes sobre ele, configurados nas linhas de força. Exemplares retirados do ERE, Faraday (1952, p. 649 § 2574), e; também, no *Faraday's Diary* pp.301-337, vide também o parágrafo 8118.

Assim, na perspectiva de melhorar a compreensão, referencia-se que na figura 1, quando um vidro de borossilicato de chumbo – confeccionado por Michael Faraday para esses experimentos –, era colocado em uma correspondente linha de força magnética, ou curva magnética, um raio de luz polarizado passava através dele, trespassando-o. Nesse caso, perpendicular a ele, então o efeito não fora produzido. A luz era afetada apenas quando, particularidades, pudessem ser entendidas. Assim, quando nas posições **a** e **b** representadas como uma posição onde a luz polarizada atravessava um cristal conhecidamente diamagnético, a luz sofria ação magnética. Nas posições **c** e **d**, observa-se apenas o curso de um raio de luz polarizado, passando pelos cristais, também diamagnéticos, conforme as linhas pontilhadas, sem ocorrer nenhum efeito.

Na segunda posição (**c** e **d**) o vidro transparente ou um cristal diamagnético foi colocado diretamente no fim do magneto, então nenhum efeito lá poderia ser descrito. Isso era uma evidência, de que o efeito só ocorreria, quando o raio de luz polarizado passasse através do vidro de borossilicato de chumbo e paralelo às linhas de força, então, ele seria afetado.

O modelo da figura 2, nesse caso, confere-se como exemplo de outro experimento com uma “substância examinadora” para distinguir as ações de outras substâncias *não diamagnéticas*, diferentemente do comumente denominado de “corpo de prova”. Nesse caso, foi utilizado um cilindro de vidro transparentes de borossilicato de chumbo, ou de cristal de bismuto, ou poderia ser cortiça, madeira, fósforo, arsênio, etc. Os quais representavam um corpo diamagnético, marcados nas suas extremidades com polos **N** (Norte) e **S** (Sul) simulando um magneto, demarcados por uma linha divisória para orientar a direção tomada pelos corpos nas linhas de forças.

Por outro lado, grosso modo, quando esse modelo, perante nossos olhos, experimentalmente, expressasse toda a lei, determinaria cada posição conseqüentemente à direção resultante. Faraday exemplica no ERE, o caso um relógio se ele fosse considerado um diamagnético, o polo norte do ímã poderia ser imaginado contra o rosto dele, e o polo sul contra a parte de trás, então o movimento da mão iria indicar o sentido da rotação que um raio de luz sofresse por magnetização.

Finalmente, outra elucidação experimental aqui avaliada com relação à ação mútua de repulsão entre o bismuto e um ímã, quando aquele compõe um pêndulo bifilar, descrito em Faraday (1952, p. 646 § 2551). Citando, os argumentos do estudioso britânico:

Pensei que com muito cuidado, certamente, poderia examinar e comprovar que não havia ligação com a força [magnética], quer fosse por influência de atração ou repulsão. Para observar o efeito da torção, eu construí um pêndulo bifilar, que consistia em dois filamentos cada contendo sete fios, 4 polegadas de comprimento, e um doze avos de uma polegada de distância; suspendeu-se um cristal de bismuto [...] O objetivo era observar o grau de repulsão.

De acordo com a figura 3, encontra-se a explicação de outro experimento, referente ao mesmo processo metodológico. Vejamos que na posição **1**, que representa o eixo de um pêndulo bifilar, uma porção de bismuto (**b**) está suspensa e

inserida perpendicular às linhas de força magnética. As posições 2, 3 e 4, da mesma figura, as linhas de força magnética mantem-se oblíquas ao cristal de *bismuto*. Quando, o aparato foi posto em ação, a partir da posição 1, houve uma *superindução* das forças magnéticas enviando o cristal de bismuto para a posição 4, onde ocorreu uma ação estritamente *diamagnética*. Porém, quando o cristal de *bismuto* foi colocado novamente em repouso na posição 2, todavia, a ação da força esperada, não fez o cristal se deslocar para a posição 3, como seria de se esperar. Deslocou-se para a posição 1.

Nesse caso, as ações das forças magneto-cristalinas e das forças diamagnéticas se mantiveram em oposição, diferentemente da situação de *superindução* onde as forças se uniram em direção à posição 4. Após vários experimentos. Constataria que, entre as linhas de força, os corpos diamagnéticos se alinhavam em uma posição equatorial em relação ao campo, em oposição às linhas axiais.

Após a execução desses experimentos, publicado em outubro de 1848, todos esses modelos de análise, tornaram-se processos naturais, para afirmar ou refutar resultados envolvendo substâncias diamagnéticas. Assim, eles, fundamentariam em razão dos aspectos dedutivos, que para suprir as necessidades iniciais experimentais era necessário organizar essa nova ordem metodológica, relacionando o espaço e matéria, então conforme Faraday (1952, pp.685-686 § 2787):

Antes de determinar o ponto zero, entre corpos magnéticos e diamagnéticos, temos que considerar o verdadeiro caráter e a relação de espaço livre de qualquer substância material. [...] Talvez seja desnecessário afirmar, que eu encontrei tanto para o ferro quanto para o bismuto [em situação] em vácuo perfeitamente, [a mesma] obediência aos ímãs. A partir desses experimentos, e também, a partir de observações e conhecimentos gerais, parece-me evidente que as linhas de força magnética pode atravessar o espaço puro [o vácuo].

A questão fundamental fora definida com clareza quanto aos procedimentos descritivos que representavam, intrinsecamente, a construção e argumentos relativos aos roteiros elaborados como plano experimental. Dessa forma, quando se busca a interpretação histórica desses procedimentos, as evidências, encontram-se na forma de pensar, fundamentar, especular e manusear experimentos objetivando esclarecer as peculiaridades e diferenças únicas de cada fenômeno natural. Faraday (1952, p. 686 § 2790) relaciona referências conceituais oriundas dos fatos experimentais publicados em 1850, com relação aos efeitos diamagnéticos em relação ao espaço (*medium*), quando nenhum efeito é produzido, argumenta que:

Como o espaço, portanto, comporta-se de forma independente da matéria, e de outra maneira, as diferentes variedades da matéria devem, em relação às suas respectivas qualidades, serem consideradas entre si. Aquelas que produzem nenhum efeito quando adicionadas ao espaço, parece-me serem neutras ou situando-se em zero.

Ainda em Faraday (1952, p. 627 § 2420) argumentando que como toda a matéria está sujeita às forças magnéticas universais, assim como a gravitação, às forças elétricas, às forças de coesão química, as substâncias eram afetadas não de forma ordinária, mas nos estados sólido e fluido. Alude, ainda, no contexto, ao fato de ter efetuado com sucesso já em 1836, avaliações em metais, sobre o “*estado magnético*”. Entre 1845 e 1850, concluiria que as substâncias de um modo geral, organizavam-se em duas grandes divisões magnéticas, para e diamagnética (FARADAY, 1952, p. 686 § 2790).

Podemos afirmar que, a teoria da matéria diamagnética de Faraday, fora absorvida pelo universo científico vitoriano. Todavia, as concepções da unicidade e da conversibilidade de todas as forças, a noção de um espaço ocupado pelas linhas de força elétrica e ou magnética, demoraram a ser totalmente corroboradas. As concepções teóricas e experimentais idealizadas pelo estudioso britânico fizeram parte de uma nova modelagem metodológica, ainda que qualitativa, no universo da Física do século XIX. Uma vez que, Michael Faraday, naquele momento, era um dos responsáveis por transformar as “anomalias de polaridade” em uma nova divisão do sistema magnético, tal como, o conhecemos atualmente.

CONCLUSÃO

Michael Faraday havia iniciado os estudos sobre os efeitos do magnetismo no *paper* intitulado: *On the General Magnetic Relations and Characters of the Metals*, publicado no *Quarterly Journal of Science*, XIX, 338, 1836. (ERE, 1952, p. 813-816) Quando, inicialmente, indagava sobre as “ligas nativas” de irídio e ósmio, e também dos cristais de titânio, serem ligeiramente magnéticos em temperaturas comuns. Ele acreditava que, isso era devido à presença de ferro contido nelas. Sendo resfriadas com um grau mais baixo que eles não apresentam qualquer força magnética adicional, e, portanto, pode-se concluir que o irídio, o ósmio, e o titânio podem ser adicionados como metais não magnéticos.

Entre 1845 a 1850, o estudioso britânico, retornaria aos estudos iniciados em 1836 e concluiria conceitos de extraordinária relevância e uma ferramenta metodológica, que teorizava a estrutura da matéria magnética nas interfaces conceituais entre a física e a química oitocentistas. Naturalmente, isto foi possível, devido ao estudo de uma larga classe de substâncias, avaliadas experimentalmente, conforme descrevemos anteriormente. Tendo como indicador conceitual teórico a pequena taxa de susceptibilidade magnética, inerente ao *diamagnetismo*, conferindo que em cada uma dessas substâncias, a direção da magnetização, era oposta à direção do campo induzido.

A teoria e a prática dessa metodologia, conjuntamente, geraram formas, nomenclaturas, estruturas e novas linguagens, que nortearam em uma perspectiva natural, na essência, emergentes especulações e diferenciações das características com relação à matéria magnética em meados do século XIX. Por outro lado, o aperfeiçoamento e os procedimentos de monitoramento de experimentos com as substâncias examinadoras ou “sensores” diamagnéticos, constituiu-se em uma poderosa estrutura experimental para expressar resultados pela prática do artifício visual afiançados pelas configurações explicitadas nas linhas de força física. Atualmente, o monitoramento e uso de sensores, expandiram-se por todos os setores e ramos do conhecimento humano, para usos semelhantes e diferenciados daqueles usados pelo estudioso britânico.

Com respeito ao estudo e monitoramento dos efeitos da torção do momento de força magnética, foram usadas para mensurar as ações de torção e posição dos cristais de bismuto e demais substâncias diamagnéticas, ou melhor, do comportamento da condução tomada para uma direção reversa mútua em relação aos magnetos, quando descritos nas configurações das linhas de força. Os experimentos, da forma como foram feitos com diferentes substâncias *paramagnéticas* e *diamagnéticas* ocorriam em dois estágios. Conforme Faraday (1952, p. 523-538 § 2310) o efeito de

torção do momento se dava a partir de uma força que causava várias deflexões e torque, elas ocorriam diferentemente para cada substância em experimento, em razão de sua estrutura molecular – nos intervalos de instabilidade no início –, e de estabilidade no decorrer do experimento. As avaliações das especificidades citadas, sobre os efeitos de torção foram observadas no bismuto, no estanho, no antimônio, em diversas espécies de metais e vidros de alta densidade, tendo em vista uma mesma intensidade padrão de força magnética ordinária para cada experimento, como já citamos anteriormente.

O *efeito diamagnético* retorna ao cenário de novos estudos no século XX, onde foram desenvolvidos novos paradigmas através dos trabalhos de pesquisa dos contemporâneos franceses Paul Langevin (1872-1946), principalmente, aqueles, oriundos do conceito de proporcionalidade da ação diamagnética nos campos moleculares ser intrínseca à magnetização conforme Pierre-Ernest Weiss (1865 – 1940) confirmaria em 1907.

A relevância dos estudos em Michael Faraday sobre a matéria diamagnética, aqui abordada, confere a eles uma ordenação experimental e conceitual sobre a influência da condição molecular inerente às substâncias diamagnéticas. Incluem, inclusive, as reflexões referentes aos estudos da torção do momento magnético, a convertibilidade da característica magnética em diamagnética, através da exposição a temperaturas excessivas ou quando resfriados a temperaturas baixíssimas, ainda através do grau de susceptibilidade magnética e aspectos e direções tomadas pelas substâncias para e diamagnéticas em especial ao conceito do diamagnetismo, meados do século XIX. Referimo-nos aos eventos oriundo de campo magnético externo não uniforme, quando matérias reconhecidamente diamagnéticos sofrem repulsão da região onde o campo magnético é mais intenso para a região onde o campo magnético é menos intenso.

Tendo em vista, o contexto referenciado, faz-se necessário explorar o viés que relaciona o ensino e a construção histórica do *diamagnetismo*, pois é pouco abordado ou debatido, em uma concepção histórico-social relacionando textos e aulas de química no ensino superior, de um modo geral. Encontram-se restritas referências ao tema, são raríssimas as abordagens e quando acontecem, tratam-se de relatos técnicos com respeito aos efeitos dos campos magnéticos, especificamente dando ênfase ao “Efeito Zeeman” (modificação do espectro atômico provocado pela aplicação de um campo magnético externo), nas ligações químicas relacionando o caso dos elétrons emparelhados (moléculas diamagnéticas), quando a molécula não apresentam momento magnético de rotação (*spin*), na Teoria do Orbital Molecular Moléculas diatômicas homonucleares, na espectroscopia de massa nos processos de interação da radiação eletromagnética e a matéria, além das reflexões resumidas sobre a supercondutividade de materiais magnéticos, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUGMANS, Antonii. “Affinitatibus magneticis observationes magneticae”. **Lugd. Batav.**, 1778.

CANTOR, Geoffrey; GOODING, David, and FRANK A. J. L. James. **Michael Faraday**, New York: Humanity Books (Prometheus Books), 1996.

DAY, P., (Org.). **The Philosopher's Tree**: A Selection of Michael Faraday's Writings. Bristol / Filadélfia, Institute of Physics Publishing, 1999.

Le BAILLIF, M. "Repulsion of a Magnet by Bismuth and Antimony". **Bulletin Universel**. Vols. VII p. 371; e vol. VIII pp. 87, 91 e p. 94, 1827.

DORFMAN, Ya. G. **Diamagnetism and the Chemical Bond**. London: Edward Arnold Publishers, 1961.

FARADAY, Michael. **Experimental Researches in Electricity**. Chicago/London: Encyclopedia Britannica (Great Books of Western World, Vol. 45), 1952.

FARADAY, Michael. **Faraday's Diary**: Being the Various Philosophical Notes of Experimental Investigation. (Org.). T. Martin London: G. Bell and Sons, 1933.

FARADAY, Michael. **The Forces**. Buffalo: Prometheus Books, 1993.

OLDROYD, David Roger. **The Arch of Knowledge**: An Introductory Study of the History of the Philosophy and Methodology of Science. NewYork / London: Methuen, 1986.

OMNÈS, Roland. **Filosofia da Ciência Contemporânea**. Trad. brasileira de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: UNESP, 1996.

O'RAHILLY, A. **Electromagnetic Theory**. New York: Dover, 1965.

REIS, J. B. A. A Arquitetura Metodológica de Michael Faraday. 2006. **Tese** (Doutorado). São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2006.

SAIJEY, "Magnetism of certain natural combination of Iron, and on the mutual repulsions of Bodies in General", **Bulletin Universel**. Vol. IX, pp. 89,167, 239, 1828.

SEEBECK, Thomas "Magnetic Polarity of Different Metals, Alloys and Oxides". **Bulletin Universel**, 1828.

THOMAS, John Meurig. **Michael Faraday and the Royal Instituion**: The Genius of Man and Place. Bristol/Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1997.