

PEQUENA HISTÓRIA DO MAGNETISMO APÓS 1600

Oswaldo Pessoa Jr.¹

O trabalho de William Gilbert, *De magnete* (1600), descreveu as diversas propriedades conhecidas do magnetismo, lançou a hipótese de que a Terra é um grande ímã e explicou o magnetismo como sendo a alma da Terra. Essa concepção seguia a tradição de considerar a atração magnética como a ação de uma alma presente nas coisas.

Opondo-se a esse naturalismo “animista”, René Descartes (1644) propôs que, no mundo material, só agem forças por contato, através de colisões entre os corpos, no que veio a ser chamada de “filosofia mecânica”. Assim, buscou explicar o magnetismo através de “partículas estriadas” que teriam ranhuras como as de um parafuso e que poderiam adentrar canais específicos dentro de um ímã e fazê-lo mudar de direção. Tais partículas circulariam pelo eixo da Terra, saindo pelos polos, e fazendo as bússolas se orientarem.

Instrumentos magnéticos eram melhorados em função de sua importância para a navegação marítima, assim como cartas de inclinação e declinação magnéticas para marinheiros. A partir de 1700, a pesquisa empírica sobre a eletricidade se expandiu consideravelmente, levando à noção de que haveria um fluido elétrico que se propaga em materiais condutores e que poderia ser armazenado em garrafas de Leiden. Em 1733, Charles Dufay propôs a existência de dois fluidos elétricos, que denominou de “vítreo” e “resinoso”. Estendendo essa ideia para o magnetismo, em 1778, Johan Wilcke e Anton Brugmans propuseram independentemente a existência de dois fluidos magnéticos, que viriam a ser chamados de “austral” e “boreal”. Em 1785, Charles Coulomb utilizou uma balança de torção para medir como a força elétrica se altera com a distância, encontrando uma lei semelhante à atração gravitacional, que cai com $1/r^2$. Na Inglaterra, John Michell confirmou tal lei para a

1 Possui graduação em Física (1982) e Filosofia (1984) pela Universidade de São Paulo, mestrado em Física Experimental pela Universidade Estadual de Campinas (1985) e doutorado em História e Filosofia da Ciência na Indiana University, EUA (1990). Trabalhou na Universidade Estadual de Feira de Santana (2001) e na Universidade Federal da Bahia (2002), e atualmente é professor livre-docente do Depto. de Filosofia, FFLCH, USP. Tem experiência na área de Filosofia da Ciência, atuando principalmente em filosofia da física, modelos causais na história da ciência, e filosofia da mente. E-mail: opessoa@usp.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6654680579591757>.

atração e repulsão entre polos magnéticos. A partir disso, Siméon Denis Poisson matematizou a eletrostática e a magnetostática, em 1824, por meio da função matemática conhecida como “potencial”.

No séc. XVIII havia uma corrente mística que defendia o “magnetismo animal” como uma força da alma sobre a matéria, herdeira do naturalismo animista de Gilbert, sendo que seu expoente era o médico Anton Mesmer, que começou a escrever sobre o assunto em 1773. Desde sempre, o magnetismo esteve associado à magia e a tratamentos de saúde, sendo dessa época a “cama magnética patagônica real”, oferecida por James Graham em Londres para a concepção de bebês mais saudáveis! Colchões magnéticos são vendidos até hoje para a melhoria do sono e da saúde, mas tais afirmações não são aceitas pela comunidade científica.

No entanto, o que tornou-se parte do conhecimento científico foi a descoberta da eletricidade animal, feita pelo italiano Luigi Galvani em 1780, ao manipular cadáveres de rãs com aparelhos elétricos. A investigação de por que metais provocam o movimento das pernas do anfíbio acabou levando Alessandro Volta (1800) a construir uma pilha de placas de dois metais diferentes, separadas por papelão umedecido, que gerava de uma corrente elétrica constante. Antes disso, o movimento do fluido elétrico era conhecido apenas por meio de descargas muito rápidas. Com uma corrente elétrica, o dinamarquês Hans Christian Ørsted fez uma descoberta fundamental em 1820: mostrou que uma corrente elétrica, gerada em um fio metálico por uma pilha, conseguia fazer uma agulha magnética girar para uma nova posição! Essa descoberta foi rapidamente levada adiante por outros cientistas, especialmente na França.

Nesse mesmo ano, Jean-Baptiste Biot e seu colaborador Félix Savart desenvolveram uma fórmula matemática exprimindo a força que um “elemento” de corrente elétrica exerce sobre um pequeno ímã. Já André-Marie Ampère percebeu que o mesmo efeito de um ímã pode ser obtido por espiras de corrente elétrica, chegando a construir uma espira de corrente sensível o suficiente para se orientar para os polos magnéticos da Terra. Derivou uma fórmula para a força entre elementos de correntes elétricas e defendeu que todos os efeitos magnéticos têm origem em correntes elétricas nas moléculas dos materiais. Essa tese de que todo o

magnetismo é consequência de correntes elétricas (ou de elétrons em movimento) só seria desafiado com a descoberta do “spin” intrínseco de elétrons, na década de 1920, que é difícil de modelar por meio da rotação do elétron.

Dez anos depois da descoberta de Ørsted, eletroímãs cada vez mais poderosos estavam sendo construídos, enrolando-se um fio de corrente elétrica isolado em torno de um anel de ferro. Utilizando dois desses dispositivos, uma nova descoberta foi feita por Joseph Henry, no estado de Nova Iorque, e por Michael Faraday (1831), em Londres: a indução eletromagnética. Iniciando com os dois eletroímãs desligados mas próximos, descobriram que, quando a corrente de um era ligada, surgia uma corrente induzida na segunda espira, por um tempo breve. Perceberam assim que a variação da intensidade magnética de um ímã gera uma corrente elétrica em sistemas próximos.

Os fenômenos descritos por Ampère e Faraday seriam unificados em diferentes teorias eletromagnéticas, como a de Wilhelm Weber (1846) e a de James Maxwell (1873). Esta última acabou sendo a escolhida pela comunidade dos físicos, pois a teoria de Maxwell previa a existência de “correntes de deslocamento” no vácuo, mais tarde observadas por Heinrich Hertz (1888) com seus experimentos, confirmando a existência de ondas de rádio. A partir de Maxwell, os fenômenos elétricos e magnéticos foram unificados em uma única teoria, e a luz passou a ser entendida como radiação eletromagnética. A teoria de Maxwell introduziu as noções de “campo elétrico” e “campo magnético”, que seriam algo espalhado pelo espaço, não diretamente observável, e cujos efeitos propagam-se a uma velocidade finita, que é a velocidade da luz.

Paralelamente a isso, porém, novas descobertas relacionadas ao magnetismo foram sendo feitas. Motores elétricos começaram a ser desenvolvidos na década de 1830, a partir do trabalho de Faraday em 1821, que convertera uma corrente elétrica em movimento mecânico contínuo. Motores de corrente contínua foram lançados comercialmente, por exemplo pelos irmãos Siemens, e sistematicamente melhorados, substituindo os pesados ímãs permanentes por sistemas de eletroímãs. O impacto sobre a sociedade dessas tecnologias de eletrificação, comunicação, transporte e produção é por vezes chamado de “a revolução eletromagnética”.

Em 1838, Faraday descobriu o efeito inverso do motor, gerando uma corrente a partir de um ímã em movimento rotatório, construindo assim o primeiro “dínamo”, que converte força mecânica em corrente elétrica e que é o princípio por trás da geração de eletricidade em usinas hidroelétricas. O cientista inglês também descobriu o “efeito magneto-óptico”, em 1945, que consiste na rotação do plano de polarização da luz na presença de um forte campo magnético em volta de um vidro especialmente preparado.

Faraday percebeu que muitas substâncias apresentam comportamento magnético mensurável na presença de um campo magnético, mas não de maneira permanente, como é o caso dos materiais ferromagnéticos. Tais substâncias foram chamadas de paramagnéticas: na presença de um campo magnético gerado por um ímã, elas são atraídas pelo ímã e adquirem uma magnetização induzida no mesmo sentido que as linhas de força magnéticas. Descreveu também uma outra classe de materiais, os diamagnéticos, um exemplo do qual já era conhecido com o bismuto, que são repelidos por ímãs e cuja magnetização induzida se dá no sentido oposto às linhas de força. Faraday buscou também medir a influência de campos magnéticos na luz emitida por uma fonte imersa no próprio campo, mas esse efeito só seria descoberto por Pieter Zeeman, em 1896.

No final do séc. XIX, físicos como Hendrik Lorentz passaram a incluir uma partícula elétrica dentro da teoria dos campos eletromagnéticos de Maxwell, estipulando que o movimento de tal partícula gera um campo magnético. De fato, em 1897, J.J. Thomson comprovou experimentalmente a existência do elétron. Com o desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita, por Albert Einstein, em 1905, passou-se a ter um novo entendimento da natureza do campo magnético. Se um elétron se move em meu referencial de movimento, gerando um campo magnético, eu posso me deslocar no mesmo sentido que este elétron, com a mesma velocidade, e então, em meu novo referencial, não haverá campo magnético. Há, porém, duas grandezas eletromagnéticas (que são combinações dos campos elétrico e magnético) que são invariantes para todos os referenciais de movimento.

O passo teórico seguinte para a compreensão do magnetismo foi fornecido pela Mecânica Quântica, a partir de 1926. O magnetismo de um material é o efeito estatístico dos campos magnéticos gerados por átomos e moléculas individuais. Um único átomo pode ter uma magnetização devida ao movimento orbital de um elétron desemparelhado ou devido à magnetização intrínseca de um único elétron, chamado de “spin”. Usando a Mecânica Quântica, Werner Heisenberg, em 1928, elaborou uma teoria atômica do magnetismo a partir da interação de dipolos de spin que, por meio da “interação de troca”, tendem a se alinhar na mesma direção e sentido. Essa teoria fundamental tornava-se muito complicada para explicar aspectos do magnetismo de corpos macroscópicos. Assim, abordagens menos fundamentais, chamadas de “efetivas”, tiveram que ser desenvolvidas.

Pierre Curie havia mostrado, em 1895, que materiais ferromagnéticos transformam-se em paramagnéticos acima de uma certa temperatura, constituindo um exemplo de “transição de fase”. Os também franceses Pierre Weiss e Louis Néel desenvolveram a abordagem efetiva, explicando, em 1932, o ferromagnetismo da magnetita em termos de duas redes cristalinas entrelaçadas, cada qual com uma nova propriedade chamada “antiferromagnetismo”. Mais tarde, Néel descreveria uma forma mista de magnetismo, chamado “ferrimagnetismo”, que se aplica à própria magnetita.

Em termos de produtos tecnológicos, vale citar que o dinamarquês Valdemar Poulsen desenvolveu, em 1898, o primeiro gravador de fio magnético, que seria a base para as fitas magnéticas desenvolvidas a partir da década de 1930. A tecnologia do magnetismo teve um grande impulso com a descoberta da “histerese”, especialmente por Alfred Ewing, em 1881. No fenômeno da histerese, o estado de magnetização de um material depende não só dos parâmetros de controle do sistema (campo magnético, temperatura etc.), mas também da história do material, ou seja, do caminho pelo qual os parâmetros de controle foram alterados. Na década de 1930, um esclarecimento importante foi a explicação para os “domínios” magnéticos, levando a um melhor controle da histerese.

Outro avanço desta época foram as ligas magnéticas obtidas a partir de ferro, níquel, alumínio e cobalto. Na década de 1950, conseguiu-se desenvolver materiais

magnéticos “duros”, com tamanha “coercividade” (resistência à desmagnetização), que seu magnetismo permanece igual qualquer que seja o formato da amostra, livrando assim os dispositivos magnéticos de terem que ter formatos tradicionais, como o da ferradura (que minimizava a desmagnetização da amostra). Materiais com magnetismo “suave”, de baixa coercividade, também foram aprimorados, permitindo uma fácil magnetização e desmagnetização. Outra novidade significativa na década de 1960 foram os filmes magnéticos uniformes.

Uma das aplicações importantes desses avanços técnicos foram as memórias de computador. Em 1955, engenheiros da computação desenvolveram a memória de núcleo magnético, que reinou durante duas décadas. Ela foi substituída pela memória de bolha magnética, em que a informação é armazenada em um filme fino magnético, em pequenos domínios magnetizados, sem as partes móveis necessárias na memória de núcleo magnético. Depois de uma década, ela foi superada por memórias de material semicondutor. Materiais magnéticos eram usados em discos rígidos, e, em 1988, Albert Fert e Peter Grünberg descobriram independentemente a magnetoresistência gigante, que permitiu a construção de cabeças de leitura extremamente sensíveis em discos rígidos.

Um último avanço tecnológico a ser mencionado foi o desenvolvimento de uma liga magnética de ferro, neodímio e boro, em 1984, que fornece hoje em dia os ímãs comerciais mais potentes, conhecidos como “ímãs de neodímio”. Finalizaremos descrevendo duas outras áreas relacionadas ao magnetismo.

O magnetismo terrestre começou a ser melhor explorado com os esforços de Alexander von Humboldt que, em 1829, coordenou vários laboratórios europeus para medir flutuações no magnetismo da Terra que ocorrem de modo correlacionado. Isso inspirou a fundação do Observatório Magnético de Göttingen, em 1833, por Wilhelm Weber e pelo matemático Johann Friedrich Gauss, para medir pequenas variações no magnetismo terrestre, desenvolvendo diversos magnetômetros. Gauss concluiu que a maior parte das variações provinham do interior da Terra; em 1852, Edward Sabine mostrou que uma pequena parte era causada pelo ciclo de 11 anos das manchas solares.

Em torno de 1850, o magnetismo de rochas foi estudado pelos franceses Joseph Fournet e Achilles Delesse e pelo italiano Macedonio Melloni, estabelecendo, por exemplo, que o magnetismo presente em rochas provindas de lava de vulcão orienta-se de acordo com o campo magnético terrestre na ocasião do derramamento. Isso permitiu que, em 1905, Bernard Brunhes descobrisse a reversão do campo magnético terrestre no passado, a partir de amostras de rochas vulcânicas. O estudo do paleomagnetismo se intensificou e desempenhou papel central no desenvolvimento da teoria das tectônicas de placas, nos anos 1960.

Outro tópico de pesquisa em magnetismo é a “magnetorecepção”, ou seja, a capacidade de animais de se orientarem pelo campo magnético da Terra. Essa possibilidade já era aventada há tempos, com relação a pássaros e tartarugas migratórias, e confirmação científica começou a ser obtida na década de 1960. Em 1972 o casal Wolfgang e Roswitha Wiltschko mostrou que o passarinho pisco-de-peito-ruivo é sensível à inclinação (dip) do campo magnético. Já no século XXI, acredita-se que os pássaros obtenham informação de orientação a partir de várias fontes, como a direção do crepúsculo e padrões de polarização da luz, mas que a sensação magnética auxilia na manutenção de sua rota de voo e é calibrada todo dia para dar conta das variações do magnetismo terrestre de local para local. Conhecem-se também bactérias com magnetotaxia, descobertas por Richard Blakemore em 1975, que se orientam ao longo das linhas de campo magnético devido à presença de “magnetossomos” em seu citoplasma, ou seja, de cadeias de óxidos magnéticos como a magnetita ou a greigita. A busca por receptores contendo magnetita em animais levou à descoberta de magnetoreceptores no salmão (1997) e no pombo (2003). Outra hipótese a respeito da magnetorecepção, sem a presença de magnetita, foi apresentada em 2000 por Ritz, Adem & Schulten, propondo que uma molécula receptora da luz, o criptocromo, possa se excitar na presença da luz e formar um par correlacionado de spins, de maneira que a taxa da reação química envolvida acabe dependendo da intensidade e inclinação do campo magnético ambiente.

Referências

COURTILLOT, V. & LE MOUËL, J.-L. **The study of Earth's magnetism (1269-1950): a foundation by Peregrinus and subsequent development of geomagnetism and paleomagnetism.** Reviews of Geophysics, v. 45, artigo RG3008, p. 1-31, 2007.

COEY, J.M.D. & MAZALEYRAT, F. **History of magnetism.** Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier, 2023.

MATTIS, D.C. History of magnetism. In: **Theory of magnetism I: statics and dynamics.** Berlin: Springer, 1988, p. 1-38.

WHITTAKER, E. **A history of the theories of aether and electricity.** 2a ed. London: T. Nelson and Sons, 1951.

WINKLHOFER, M. **Magnetoreception.** Journal of the Royal Society Interface, v. 7, p. S131-34, 2010.