
UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-FILOSÓFICA PARA O ELETROMAGNETISMO NO ENSINO MÉDIO⁺*

Andreia Guerra
Colégio Pedro II
José Claudio Reis
Colégio Pedro II
Marco Braga
CEFET-RJ
Rio de Janeiro – RJ

Resumo

Partindo de uma reflexão sobre a relação entre a história da ciência e ensino, procura-se selecionar uma temática para explicitar um currículo com viés histórico-filosófico. O tema escolhido foi a primeira fase do eletromagnetismo, de 1820 a 1832. Para que o currículo em questão possa ser melhor analisado, os autores apresentam inicialmente conclusões a respeito de um estudo histórico-filosófico realizado sobre o tema. A seguir, descrevem em detalhes a proposta curricular, destacando uma aplicação da mesma numa realidade escolar concreta do ensino médio.

Palavras-chave: *Ensino de ciências, interdisciplinaridade, História da Ciência, Filosofia da Ciência, eletromagnetismo.*

Abstract

The authors discuss the relation of science education and history of science, from a historical-philosophical curriculum, that they constructed. The theme of this work is the electromagnetism. To analyse the curriculum, the authors do a historical-philosophical study for the being of the electromagnetism. Then they describe the details of the

⁺ An history-philosophical approach for the study of electromagnetism in high school

^{*} *Recebido: outubro de 2003.
Aceito: maio de 2004.*

proposition, discussing in this part an application of the curriculum in a high school in Rio de Janeiro.

Keywords: *Science education, history of science, philosophy of science, interdisciplinary, electromagnetism.*

I. Introdução

As discussões científicas fascinam o público, visto o grande número de publicações de divulgações da área. Alguns livros como “A Breve História do Tempo” de Stephen Hawking tornaram-se *best sellers* no Brasil. Apesar desse destaque, o tema ao ser tratado nos bancos escolares apresenta uma situação totalmente diferente. Os alunos não demonstram entusiasmo pela ciência e seus desempenhos são quase sempre medíocres. Essa dicotomia mostra o quanto o debate a respeito da educação científica formal deve ser priorizado em nosso país, apesar do tema ter sido bem discutido e problematizado nas últimas décadas. O trabalho aqui apresentado pretende trazer subsídios para essa discussão, a partir da reflexão de uma proposta curricular¹ para o eletromagnetismo no ensino médio, implementado em escolas do Rio de Janeiro.

A proposta que aqui analisaremos se insere em um projeto educacional mais amplo, em que a escola é percebida como um espaço efetivo para a formação dos alunos-cidadãos. Nessa perspectiva, é nesse ambiente que devem ser proporcionadas vivências que possibilitem aos estudantes conhecerem as questões mais fundamentais de seu tempo, a partir de um estudo sistemático da sociedade em que vivem, das conjunturas atuais e das perspectivas futuras. É fundamental, então, que as salas de aulas sejam espaços abertos a discussões a respeito dos limites e possibilidades dos conhecimentos construídos pelos homens ao longo da história. Isso implica na criação de espaços em que os alunos possam estudar a história da construção de tais conhecimentos, de forma a refletir sobre as questões por eles respondidas através do tempo, assim como as soluções encontradas e os caminhos trilhados na produção destas.

No caso específico da educação científica, é importante o estudo da história e da filosofia da ciência e da tecnologia, pois, assim, mergulharemos no passado, e encontraremos os produtores daqueles conhecimentos, bem como suas angústias, preocupações, dificuldades e certezas. Através da história, podemos conhecer o processo pelo qual a ciência e a tecnologia foram construídas, percebendo

¹ Uma proposta curricular pressupõe uma seleção de temas a serem tratados em sala, mas também uma metodologia de trabalho baseada numa postura filosófica diante do papel do ensino de física no ensino médio.

do-as como uma produção cultural, inseridas em um tempo e em um espaço específicos.

Para que a história da ciência cumpra o papel destacado, é necessário que, ao enfocá-la, seja ultrapassada a história factual, baseada apenas em curtas biografias dos autores das leis e das teorias atualmente aceitas. Ela será um instrumento eficaz na construção de um espaço propício à reflexão, quando, paralelamente ao estudo histórico do desenvolvimento interno dos conceitos e experimentos científicos e tecnológicos, discuta-se como o desenvolvimento desses conhecimentos se inseriu na história das sociedades. Deve-se, então, salientar as controvérsias científicas, as inquietações filosóficas dos que construíram a ciência, e também as interfaces entre esta e outras produções culturais.

O caminho delineado para proporcionar na escola uma reflexão sobre a ciência foi construído em nossos anos de atuação conjunta na realidade escolar. Não há originalidade em se defender o uso da história e filosofia da ciência no ensino como uma maneira para se discutir a ciência. Vários pesquisadores brasileiros e estrangeiros já investigaram o tema e apontaram caminhos. Em alguns países, a recomendação de tal abordagem encontra-se nas propostas curriculares nacionais. No Brasil, faz-se presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais. Apesar disso, ainda é pequeno o número de trabalhos que apresentam propostas para se montar um currículo com enfoque histórico-filosófico. Também são poucos os estudos que discutem conseqüências desse uso nas salas de aula com base em experiências concretas.

Por esses motivos, optamos por refletir sobre a relação história da ciência e ensino, a partir de um trabalho concreto em sala de aula. Entretanto, algumas considerações precisam ser destacadas.

Ao construirmos um currículo para o ensino científico, cujo viés sejam a História e a Filosofia da Ciência, precisamos ter o cuidado de não realizarmos um trabalho empobrecido. Os alunos necessitam estudar de forma aprofundada o tempo e o espaço histórico do assunto abordado, de forma a reconhecerem os problemas e as controvérsias vividas pelos personagens que construíram direta ou indiretamente aquele conhecimento. Enfim eles devem ser capazes de reconhecer os debates científicos, filosóficos e epistemológicos gerados naquele ambiente. Apesar da importância desse trabalho histórico-filosófico aprofundado, não podemos correr o risco de transformar as aulas de ciências em cursos de história da ciência. Existem questões específicas a serem trabalhadas no ensino de ciências, como por exemplo: o tratamento de problemas com soluções lógico-matemáticas, a manipulação de experimentos e artefatos técnicos e o conhecimento de produtos científicos e tecnológicos diretamente ligados ao cotidiano dos alunos.

Esse duelo entre um estudo aprofundado de história e filosofia da ciência e a especificidade do ensino de ciências nos levou à construção de uma proposta curricular que buscasse um equilíbrio entre esses dois movimentos.

O desenvolvimento da ciência e da tecnologia é muito rico, cada momento histórico traz à tona as diferentes questões a respeito da produção científica, mas é certo que cada um desses momentos tem sua especificidade, cada um deles por estar imerso em um determinado contexto cultural problematiza algumas situações mais que outras. Assim, julgamos que, como educadores, precisamos encontrar, para todo tópico, os problemas filosóficos a respeito da ciência mais fundamentais a serem trabalhados. Propomos, então, que, em cada grande tema, seja realizada a seleção de um momento histórico específico para se estudar de forma aprofundada o desenvolvimento de um ponto da eletromagnetismo, o período compreendido entre o experimento de Oersted, em 1820, à publicação do trabalho de Faraday sobre indução eletromagnética, em 1832. ciência.

No caso do assunto aqui abordado, o eletromagnetismo, elegemos o que denominamos de primeira fase do eletromagnetismo, o período compreendido entre o experimento de Oersted, em 1820, à publicação do trabalho de Faraday sobre indução eletromagnética, em 1832.

II. Mas por que selecionar esse momento?

Para podermos melhor justificar a escolha, iremos apresentar alguns pontos a respeito do desenvolvimento da primeira fase do eletromagnetismo.

Os fenômenos elétricos e magnéticos receberam atenção especial por parte dos filósofos naturais, pessoas que se dedicavam a estudar a natureza, no século XVIII. Muitos experimentos e aparatos técnicos foram construídos com o propósito de melhor investigar esses fenômenos. A partir de 1750, cresceu o número de análises teóricas que pretendiam esclarecer a natureza da eletricidade e do magnetismo. Vários trabalhos surgidos na época pautavam-se em uma visão mecanicista de natureza.

Apesar das diferentes nuances, podemos dizer que a concepção mecanicista, que teve presença significativa naquele contexto, baseada na ciência newtoniana, entendia a natureza como um conjunto de corpúsculos e de fluidos em movimento. As configurações e os movimentos desses elementos seriam os responsáveis pelos diferentes acontecimentos. A todo efeito encontrado na natureza haveria um sistema de partículas ou fluidos relacionados entre si por forças passivas de ação e reação (HENDRY, 1986).

Na segunda metade do século XVIII, foram intensas as discussões em torno a natureza da eletricidade, diferentes explicações surgiram. Porém, pelo objetivo deste trabalho, iremos destacar apenas o grupo dos defensores da tese de que as manifestações elétricas eram provenientes da ação de dois fluidos distintos que agiam à distância um sobre o outro por meio de forças de atração e repulsão. Dentro desse grupo, alguns buscavam determinar matematicamente tais forças, a partir do modelo da lei da gravitação universal. Diversas experiências foram

realizadas com esse propósito, algumas, inclusive, indicando a variação da força elétrica com o inverso do quadrado da distância.

Nesse ambiente, o francês Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) desenvolveu suas pesquisas. Respeitando sua formação científica, trabalhou de acordo com a linha mecanicista, defendendo ser a eletricidade derivada de dois fluidos distintos que agiam à distância um sobre o outro. A grande contribuição de Coulomb à ciência do século XVIII foi construir caminhos que lhe possibilitaram usar uma balança de torção para determinar a força elétrica existente entre esferas eletricamente carregadas.

A partir da análise da força de repulsão entre duas pequenas esferas carregadas, Coulomb concluiu que a expressão matemática $F = K m_1 m_2/r^2$, que descrevia a força gravitacional entre partículas materiais, também era válida para os casos de atração e repulsão elétrica e magnética, desde que as massas fossem substituídas pelas cargas adequadas e a constante fosse aquela apropriada a cada um dos casos. Sabemos hoje que diferentemente do caso da força gravitacional, a constante da expressão correspondente à força elétrica varia com o meio em que as cargas elétricas estudadas se encontram. Porém, Coulomb realizou seu trabalho sem pensar na possibilidade de uma variação da força elétrica entre duas cargas em função do meio em que elas se encontravam (WILLIMAS; STEFFENS, 1978).

Com seus estudos, Coulomb acreditou ter mostrado que os fenômenos elétricos e magnéticos são independentes, resultados da ação de fluidos elétricos e magnéticos de naturezas distintas. Seu trabalho fortaleceu o edifício mecanicista ao mostrar que a lei fundamental da mecânica era também apropriada à eletricidade e ao magnetismo. Esse sucesso impulsionou alguns filósofos naturais a usarem teoremas e leis matemáticas que desenvolveram para os estudos de ação mecânica entre partículas materiais para o caso dos fluidos elétricos e magnéticos. Nesse caminho, grandezas estabelecidas para a mecânica, como potencial gravitacional, foram apropriadas para os estudos de eletricidade e magnetismo, fazendo surgir conceitos e expressões que se encaixam na área hoje denominada eletrostática. Apesar do sucesso do trabalho de Coulomb e de outros na apropriação dos teoremas da mecânica para análise de forças elétricas e magnéticas, o edifício mecanicista estava sendo abalado.

Seguindo o caminho de crítica ao sistema newtoniano, surgiu, no final do século XVIII, o movimento conhecido por “Naturphilosophie” (Filosofia Natural Romântica) (Filosofia Natural), em oposição ao Iluminismo.

Schelling (1775-1854) foi um dos maiores representantes da “Naturphilosophie”, em termos epistemológicos e filosóficos. Ele defendia ser a essência da natureza a permanente atividade de oposição de forças de atração e repulsão. O mundo estaria, assim, em eterno conflito, no qual sempre uma das forças se sobreporia à outra.

Para os adeptos dessa filosofia, a natureza era um todo orgânico, a matéria e os fenômenos naturais seriam resultados da polaridade e dualidade de forças de atração e repulsão. Esses filósofos não assumiam a hipótese da existência de entidades materiais capazes de explicar os fenômenos. Haveria na natureza um permanente conflito de forças, onde uma sempre se sobrepunha a outra. De tal forma que, quando a tensão em uma manifestação, como por exemplo eletricidade, era muito intensa, ela não conseguiria permanecer contida nessa forma, provocando o aparecimento de um outro fenômeno. Em resumo, os fenômenos da natureza (químicos, biológicos, mecânicos, elétricos e magnéticos) tinham o mesmo princípio básico e constituíam-se em manifestações distintas de uma mesma força definida como atividade pura. Dessa forma, era possível que uma manifestação específica, como o calor, se convertesse em outra, como o movimento. Os partidários da “Naturphilosophie” acreditavam também que a natureza teria uma tendência à dispersão, à qual sempre se contrapunha uma outra tendência. A unificação se estabeleceria porque haveria um princípio vital, responsável por a natureza estar continuamente tendendo a sair de sua passividade.

A forma da “Naturphilosophie” conceber a natureza e a prática científica permeou o trabalho de alguns filósofos naturais do início do século XIX, fazendo crescer, nas duas primeiras décadas deste, o número de pesquisas que visavam evidenciar unidade dos diferentes fenômenos naturais.

Nesse ambiente, um caso importante a ser aqui salientado é o do inglês Humphry Davy (1778-1829). Assim que tomou conhecimento da pilha construída por Volta, em 1799, passou a estudá-la, questionando a teoria daquele cientista de que a eletricidade ali produzida era um fenômeno eletrostático causado pelo simples contato de metais diferentes. Para explicar a pilha, Davy sugeriu que a produção da eletricidade dependia das reações químicas ali ocorridas. Ele estava convencido de que, em células eletrolíticas, a corrente agia separando compostos e não sintetizando novas substâncias.

Seguindo esse caminho, explorou os fenômenos de eletrólise, que haviam sido evidenciados a partir da utilização de pilhas de Volta, como método de análise química. Propôs, então, uma teoria elétrica da afinidade química. Suas conclusões baseavam-se na tese de que a condição elétrica de uma substância era capaz de alterar suas propriedades químicas. A afinidade química seria em última instância elétrica.

Nas duas primeiras décadas do século XIX, surgiram outras experiências que buscavam relacionar os diferentes fenômenos da natureza. Por exemplo, em 1805, Charles Hatchett (1765-1847) e Charles B. Desormes (1777-1862) procuraram, sem sucesso, produzir atração entre pólos magnéticos e cargas elétricas. Já o germânico Ritter (1776-1810) realizou experiências para detectar a ação de ímãs sobre rãs. Ele mostrou que utilizando um fio de ferro imantado combinado a outro não imantado era possível produzir palpitações em rãs. Buscou também reproduzir os fenômenos da eletrólise com fios de ferros imantados. Apesar dos resulta-

dos de Ritter apresentarem-se de forma bastante irregular, suas conclusões causaram um certo entusiasmo aos adeptos de uma visão não mecanicista de natureza (MARTINS, 1986).

Nas duas primeiras décadas do século XIX, crescia o número de trabalhos experimentais que procuravam evidenciar relações entre fenômenos elétricos, térmicos, ópticos, químicos e magnéticos. Alguns experimentos exploravam relações entre eletricidade, calor, luz e química. Nas análises dessas experiências, a eletricidade aparecia como o elemento centralizador, uma vez que alguns experimentos mostravam relações entre fenômenos elétricos e químicos, outros entre fenômenos elétricos e ópticos e outros ainda entre fenômenos elétricos e térmicos.

Dentro do grupo de cientistas que dedicava atenção a esse tipo de trabalho científico, Hans Christian Oersted (1777-1851) merece destaque.

Oersted nasceu na Dinamarca, lá estudou com muito afinco literatura, ciência e filosofia. Em 1800, conheceu a pilha de Volta, passando a realizar experimentos com ela. De 1801 a 1803, em decorrência de uma bolsa de estudos, visitou a Alemanha, a Holanda e a França tornando-se amigo de expoentes da “Naturphilosophie”, como Schelling e Ritter. Com base em seus estudos de filosofia, e, particularmente, da “Naturphilosophie”, desenvolveu suas atividades científicas apoiando-se na idéia de que a natureza era um todo orgânico harmônico, dotado de uma alma ativa, geradora das forças naturais.

Sua concepção filosófica, reforçada por trabalhos de outros filósofos naturais, impulsionou-o a defender ser a afinidade química apenas uma manifestação química da força elétrica. Na verdade, a afinidade química representaria um caso particular de conversão de força e não uma ação específica de uma certa espécie de matéria. Acreditava que investigando-se apropriadamente a natureza encontrariam-se outras conversões.

Oersted e alguns de seus contemporâneos defendiam existir uma relação entre eletricidade e magnetismo. Por suas concepções teóricas a respeito das “forças da natureza”, era considerado, por seus parceiros, um personagem importante para o desenvolvimento daqueles estudos. Assim, ele sempre recebia notícias dos experimentos e análises teóricas que buscavam explorar aquela relação. Porém, diferente de alguns desses estudiosos, investigou o assunto através da corrente elétrica e não da ação eletrostática. Essa escolha não foi sem propósito, afinal experiências haviam mostrado que era a passagem de corrente elétrica em um fio condutor fino que provocava aquecimento e emissão de luz nesse mesmo fio, e não qualquer ação eletrostática.

Participando de todo um contexto de questionamento ao mecanicismo, ele aprofundou seus estudos iniciais realizando experiências, com o propósito de evidenciar relações entre eletricidade e magnetismo. Como fruto de um trabalho rigoroso e persistente, obteve sucesso ao observar que uma agulha imantada sofria deflexão, quando colocada próxima a um fio condutor por onde circulava corrente elétrica. Os resultados desse experimento foram publicados, no ano de 1820, em

um artigo intitulado “Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética”². Oersted teve a preocupação de apresentar o movimento da agulha imantada na presença de um fio condutor por onde circulava corrente elétrica, como um efeito novo sem qualquer ligação a supostos efeitos eletrostáticos de atração ou repulsão. Aliás, os termos atração e repulsão não foram usados em momento algum nas descrições das experiências: afirmava que o conflito “levava” o pólo da agulha imantada para leste ou para oeste, ou simplesmente defendia que tal conflito “desviava” a agulha imantada.

Para explorar a questão de ser esse um efeito novo, realizou outras modificações na situação experimental original, em que substituiu a agulha magnética, por uma de latão. O insucesso do experimento era, para ele, a prova definitiva de que aquele era um efeito novo não provocado por forças elétricas. Um efeito magnético havia sido gerado pelo conflito elétrico. Utilizando esse resultado experimental, explicou ainda porque apenas sobre materiais apropriados ocorria aquela manifestação.

Oersted considerava que o conflito elétrico ao se tornar intenso não se mantinha no fio, ultrapassava esse limite, ocupando, então, todo o espaço, fazendo com que outros efeitos que não elétricos fossem percebidos. A incandescência do fio condutor era esperada, uma vez que considerava que o efeito magnético era o último a se manifestar. Interessante destacar, que ele reconheceu mais tarde, como fica explícito no texto de 1827 da Enciclopédia de Edinburg, que o efeito magnético seria melhor observado com fios grossos, sugerindo, então, não ser necessária a produção de calor e luz para que aquela manifestação fosse percebida.

Apesar de em 1820, Oersted não comentar nada sobre o que o motivara a realizar aquele experimento, podemos afirmar que não foi uma experiência casual. Nos artigos que escrevera, ele deixou claro que, mesmo antes de 1820, procurara realizar experimentos que mostrassem que uma agulha imantada poderia sofrer deflexão na presença de um fio condutor por onde circulava corrente elétrica. Tudo o que aqui foi exposto mostra que tal experimento era esperado tanto por Oersted quanto por outros filósofos naturais. Apesar disso, sua teoria teve poucos adeptos; apenas seus resultados experimentais foram rapidamente aceitos pela comunidade científica.

Em um curso sobre o eletromagnetismo, cujo objetivo central seja a reflexão sobre a ciência, a discussão da experiência da agulha imantada é um ponto que merece destaque, pois não foi aleatória, fruto de um acaso³. Oersted vivia em

² Citamos a tradução do artigo de Oersted feita por Roberto de Andrade Martins, publicada no ano de 1986 nos Cadernos de História e Filosofia da Ciência, n. 10, p. 115-122.

³ A suposição da “descoberta” por puro acaso parte de uma postura empirista considerada hoje ingênua. Pode-se associá-la também a uma visão positivista que negava as influências metafísicas dos defensores da Naturphilosophie. Para aprofundar a questão ver o artigo “Oersted e a

um ambiente que o impulsionava a buscar uma relação entre eletricidade e magnetismo e trabalhos anteriores mostravam-lhe caminhos que valiam ser explorados. A contextualização histórica desse trabalho, ao contrário da mera apresentação disposta nos livros didáticos, é um ponto importante sobre o qual os alunos podem refletir acerca do papel da experimentação ao longo do desenvolvimento científico, e, portanto, proporciona uma reflexão sobre a ciência.

Naquela época, especulações não investigadas experimentalmente perdiam facilmente o valor. O experimento, após o nascimento da ciência moderna, adquirira um destaque tal no mundo da ciência física que seu uso não poderia ser negligenciado, porém isso não significou que o trabalho experimental fosse casual, fruto de descobertas aleatórias. Houve, por exemplo, uma orientação teórica-filosófica no trabalho experimental desenvolvido por Oersted.

Apesar da relevância e pertinência das questões anteriormente apresentadas, defendemos que restringir o trabalho pedagógico à reflexão sobre a não aleatoriedade do experimento de Oersted empobrece o estudo histórico. Existe, no seu desenvolvimento científico, um problema histórico-filosófico de cunho mais estrutural que precisa ser estudado: a “Naturphilosophie” e a contribuição à ciência trazida pelos filósofos adeptos ou simpatizantes daquela visão de natureza. Os alunos estudam o eletromagnetismo sem refletirem sobre as diferenças fundamentais entre os conceitos ali apresentados e os de força elétrica e potencial elétrico estudados em eletrostática. Em geral, não percebem que, no caso do eletromagnetismo, explicita-se uma forte relação entre fenômenos naturais aparentemente distintos, um fenômeno elétrico podendo ser gerado por um magnético e vice-versa. A questão da possibilidade de conversão é um problema filosófico muito caro à ciência e, em um ensino puramente instrumental, voltado exclusivamente aos produtos científicos e tecnológicos, é deixado de lado.

III. A repercussão da experiência da agulha imantada

A experiência da “agulha imantada” evidenciou um novo fenômeno, mas não conseguiu derrubar a tese de que os fenômenos naturais poderiam ser compreendidos a partir da idéia de que a natureza era um conjunto de corpúsculos ou fluidos inertes, com forças atuando entre eles. Alguns filósofos naturais construíram leis matemáticas e teorias que analisavam o experimento baseando-se na ação entre supostas partículas elétricas e magnéticas. Uma alternativa à explicação de Oersted foi a de uma temporária magnetização das partículas do fio condutor feita pelo físico francês Jean-Baptiste Biot (1774-1862).

O francês André-Marie Ampère (1775-1836) foi um dos filósofos naturais que redirecionou seu trabalho após a divulgação do artigo de 1820. No entanto, o

Descoberta do Eletromagnetismo” de Roberto de Andrade Martins, publicado nos Cadernos de História e Filosofia da Ciência, v.10, 1986.

fato de estar na França não o fez seguir Biot. Relacionando-se com Arago, Fresnel, Dupont, Petit e Fourier, criou uma teoria própria, rompendo com o programa laplaciano⁴ (CANEVA, 1980).

Ampère dedicou-se à Química e ao eletromagnetismo. Dando uma atenção especial para a Filosofia, defendeu ser a metafísica a única ciência realmente importante.

A trajetória científica deste pode ser dividida em três fases: a primeira, até 1808, em que se dedicou exclusivamente à Matemática. Por volta de 1808, os trabalhos de Química ganharam destaque. A terceira e última fase teve início em 1820, quando trabalhou com o eletromagnetismo.

Os trabalhos feitos por Ampère em Química, apesar de terem sido em sua maior parte realizados antes de 1820, formam, com aqueles posteriores ao experimento de Oersted, um conjunto sólido, em que uma visão de natureza e de ciência se explicita⁵. No período em que o interesse dele pela Química aumentou, o químico inglês Humphry Davy estava mexendo nas bases ortodoxas da química francesa, dominada pelas teorias de Lavoisier.

Alguns historiadores da ciência, como Pearce Williams, defendem que a intensificação do interesse de Ampère pela Química estava ligada ao questionamento de Davy à estrutura teórica de Lavoisier. Algumas cartas enviadas por Ampère, no período de 1810 a 1815, reforçam essa tese, além de mostrar que sua produção científica intensificou aquele questionamento. Por exemplo, na carta de 1811, Ampère apresentou ao amigo J. Bredin o trabalho de Davy, destacando as resistências às conclusões daquele cientista e criticando os adversários, que presos a teorias, não se permitiam ver os fatos (AMPÈRE, 1811, p. 82).

Nesse ambiente, de conhecimento e realização de novas explorações químicas, o interesse de Ampère pela eletricidade e pelo magnetismo era pequeno. Porém, essa situação sofreu completa metamorfose quando, em 4 e em 10 de setembro de 1820, assistiu às apresentações de Arago à “Academie des Sciences de Paris” sobre o experimento da agulha imantada de Oersted.

Antes de conhecermos essa terceira fase do trabalho de Ampère, é importante que reflitamos sobre os motivos que o levaram a se interessar por um tema até então ignorado. A trajetória seguida a partir de 1808, respaldada por seus estudos filosóficos, o distanciou do grupo laplaciano, mostrando-lhe novas possibili-

⁴ Programa de investigação mecanicista criado por Laplace que visava fundamentalmente unificar a Física geral (matemática) com a Física particular (experimental). Essas duas Físicas pautavam-se na herança newtoniana dos “Principia” (particular) e do “Óptica” (particular). No primeiro livro, Newton apresentou fundamentos da mecânica seguindo o caminho abstrato da matemática. Já no segundo, a opção se deu pela descrição de uma ciência experimental.

⁵ Estamos usando os termos visão de natureza e ciência com base na definição apresentada por Paulo Abrantes no livro “Visões de Ciência e de Natureza”, 1998.

dades de investigação na natureza. Durante esse período, que segue até 1820, viveu em um contexto no qual alguns filósofos naturais estavam apresentando possibilidades reais de trabalho longe da proposta mecanicista. Ele conhecia os artigos em que Oersted, antes de 1820, defendia a tese de que todos os fenômenos da natureza estavam diretamente relacionados, e que a eletricidade se apresentava como um fenômeno paradigmático em termos do qual poderiam ser compreendidos os fenômenos térmicos, ópticos e magnéticos e a afinidade química,.

A apresentação de Arago à “Académie des Sciences” fez Ampère acreditar que o trabalho de Oersted estava incompleto. Assim, ele dedicou-se a investigar aquele experimento. Com sua pesquisa, não pretendia apenas trazer novos fatos à tona, procurava compreender a essência daquele fenômeno.

Iniciou, então, sua inserção no eletromagnetismo, reproduzindo o experimento da agulha imantada. Esse procedimento o fez perceber que os resultados então apresentados eram frutos de uma combinação entre a ação da corrente elétrica e a da força magnética da Terra, e que, por isso, na investigação do real poder magnético do fio condutor, era necessário eliminar essa última ação. Seu interesse era estabelecer a característica da força emanada do “fio sozinho”, sem qualquer influência externa. No período de 5 a 17 de setembro de 1820, realizou vários experimentos que permitiram demonstrar que, quando o condutor encontrava-se fixo, a agulha imantada posicionava-se sempre a 90° da direção por onde circulava a corrente elétrica. Com base nisso, construiu um aparelho ao qual deu o nome de galvanômetro, cuja função era detectar a corrente elétrica através do movimento de uma agulha imantada.

O galvanômetro representou um desenvolvimento muito importante para o eletromagnetismo. Isto porque, com esse novo aparelho, foi possível mapear a corrente elétrica em um circuito voltaico sem grande interferência externa. Até aquela época, a corrente elétrica era investigada pela imposição de alguma coisa no próprio circuito, como um líquido ou um tecido animal, que muito afetava a corrente elétrica ali estabelecida.

Explorando os fenômenos eletromagnéticos com o galvanômetro, Ampère igualou as situações do fio condutor, da pilha e do líquido onde a eletrólise se estabelecia. Essa era uma idéia em total desacordo com a teoria mais aceita na França naquele momento, que tinha Biot como um dos grandes defensores. Ao se contrapor a essas explicações, Ampère descreveu experiências que, para ele, não deixavam dúvidas de que a decomposição da água por eletrólise era decorrente da ação da corrente elétrica, assim como o era a deflexão da agulha imantada evidenciada por Oersted.

Como resultado dessas análises, Ampère defendeu existir entre a corrente elétrica e a agulha imantada uma relação intrínseca de causa e efeito, ou seja, sempre que uma deflexão de uma agulha imantada fosse detectada podia-se garantir a existência de correntes elétricas circulares.

No período de 19 a 21 de setembro de 1820, com o auxílio de dois outros filósofos naturais, Fresnel e Despretz, realizou experimentos que tentavam reproduzir a ação de ímãs permanentes usando fios enrolados. Conseguiu mostrar interação entre uma bobina e um ímã e entre duas bobinas achatadas, porém não obteve sucesso com o experimento de duas bobinas não achatadas.

Ampère construiu um trabalho bem estruturado para ser levado à Academia das Ciências de Paris em 25 de setembro de 1820. Todas as experiências apresentadas e os argumentos lógicos tratados estavam de acordo com sua teoria central de que qualquer efeito magnético era produzido por correntes elétricas circulares.

Dos experimentos propostos por ele, o mais citado nos livros didáticos é o que mostra atração ou repulsão de dois fios lineares por onde circulam correntes elétricas. Esse foi um resultado que lhe surgiu pela primeira vez durante a reprodução de seus experimentos com bobinas achatadas diante da platéia da Academia das Ciências de Paris. Enquanto realizava os experimentos, observou algo que não esperava: atração entre partes retilíneas daquele circuito. Por ter usado pilhas menos potentes anteriormente, ele não conseguira ainda perceber esse fato.

Ainda nesse encontro, Arago, que também se dedicava a experimentos que o permitissem melhor investigar as possíveis relações entre eletricidade e magnetismo, anunciou uma nova experiência, em que limalha de ferro era magnetizada por um fio condutor por onde circulava corrente elétrica. A fim de explorar essa magnetização, questionou Ampère sobre a possibilidade de magnetizar uma grande agulha. O sucesso da magnetização da agulha impulsionou Ampère a retomar os experimentos com bobinas que, no período de 19 a 21 de setembro, tinham sido realizados sem que o efeito procurado tivesse sido notado. Nesse processo, apresentou, em 9 de outubro de 1820, em Paris, um novo experimento com bobinas, através do qual foi possível observar atração e repulsão desses elementos em função dos sentidos das correntes elétricas nelas estabelecidas. Comparando essa nova situação com a original, explicou o primeiro fracasso, afirmando que, pelo fato do fio ser enrolado frouxamente ao redor do tubo de vidro, a ação longitudinal se sobrepunha à circular. Assim, afirmava ele, quando as correntes nas duas bobinas estavam no mesmo sentido, o efeito longitudinal causava uma atração mais forte que a repulsão magnética formada pela arrumação do fio enrolado. Logo, para que bobinas mostrassem comportamento similar a um ímã era necessário eliminar efeito longitudinal, o que era conseguido quando o fio da extremidade inferior da bobina era introduzido ao interior do tubo de vidro, de forma tal que saísse pela sua parte superior. Nesse caso, o sentido contrário das correntes nos fios internos e externos anulava o efeito longitudinal. Realizou esse experimento diante da platéia apresentando de forma que lhe satisfizesse, a bobina como um elemento de comportamento similar a um ímã permanente.

O caminho que levou Ampère a verificar a atração e repulsão entre fios condutores lineares é outro ponto fundamental a ser explorado em sala de aula,

uma vez que mostra que, apesar de seu trabalho estar pautado em questões filosóficas e metafísicas, esse cientista se deparou com um resultado que não previra. Foi esse fato inusitado que lhe permitiu resolver problemas experimentais referentes à sua teoria original. A discussão dessa situação particular possibilita aos alunos perceberem que diferentes fatores envolvem a construção da ciência, sendo esse um processo complexo, em que não apenas uma característica se destaca.

Para que a discussão do experimento dos fios condutores lineares seja algo maior do que a apresentação de um novo fenômeno, é necessário discutir com cuidado a teoria de Ampère de que todo efeito magnético era produzido por correntes elétricas circulares. Se nos pautarmos apenas nas teorias “vencedoras”, negaremos uma análise sobre a ciência que permitirá aos alunos perceberem que esse é um conhecimento construído por caminhos tortuosos, com idas e vindas. Assim, defendemos a necessidade de se explorar em sala de aula o trabalho de Ampère, não se limitando a enunciar a conhecida “Lei de Ampère” ou a conclusão de que dois fios condutores lineares sofrem atração ou repulsão em função dos sentidos das correntes neles estabelecidas.

IV. O caminho prossegue com Michael Faraday

Para finalizarmos nossa defesa a respeito da importância de problematizarmos a primeira fase do eletromagnetismo nas aulas de Física do ensino médio, será importante destacar o trabalho do inglês Michael Faraday (1791-1867).

Faraday, que não teve uma formação escolar regular, iniciou sua carreira científica como auxiliar do laboratório de Humphry Davy. Acompanhando este em uma viagem pela Europa, conheceu Ampère, Gay Lussac, Arago, Humboldt, Rumford e Volta. Isso lhe trouxe um enriquecimento científico muito grande. Além de conhecer os mais importantes trabalhos da ciência da época, teve, junto com Davy, contato com a “Naturphilosophie”.

No laboratório de Humphry, Faraday conheceu amplamente o mundo da ciência e, assim, pode construir seu próprio caminho como um grande experimentador. Além dos trabalhos de Química pura e analítica, foi pioneiro em aplicações da Química em problemas tecnológicos, como ligas de aço e vidros ópticos.

O interesse de Michael Faraday pelo eletromagnetismo despertou em 1821. Impulsionados pelos trabalhos de Oersted e Ampère, vários cientistas, naquele momento, investigavam o eletromagnetismo. Assim, naquele ano, o número de artigos relatando novas experiências e teorias a respeito de fenômenos eletromagnéticos era enorme. A confusão era grande, pois muitas das teorias eram conflitantes. Richards Phillips, editor dos “Annals of Philosophy”, tentando entender quais experiências realmente estavam relacionadas a fatos reais e quais as teorias que explicavam esses fatos, pediu ao amigo Faraday que investigasse o assunto e escrevesse um texto sobre o tema. Para cumprir o pedido, Faraday refez várias experiências, estudou as diferentes teorias e propôs novos experimentos.

Investigando, com uma pequena agulha imantada, a força magnética oriunda de um fio condutor, notou que um dos pólos da agulha poderia, em condições apropriadas, girar circularmente, como se fosse carregado pela corrente do fio condutor. Esse fato, que lhe chamou muita atenção, fez com que se dedicasse com afinco ao assunto. Ainda em 1821, publicou um artigo, no qual apresentou um experimento, em que um fio condutor podia girar livremente em torno de um ímã fixo e um ímã podia, também, girar livremente em torno de um fio condutor fixo (FARADAY, 1821).

Nesse artigo, Faraday direcionou seu olhar crítico para a ação eletromagnética. A questão central do trabalho foi a defesa de que o efeito primitivo do eletromagnetismo era o aspecto rotacional, evidenciado pelo aparato experimental que construíra. Buscando apoiar sempre suas conclusões em investigações experimentais, descreveu todos os passos que seguira para obter rotação de fio condutor linear em torno de um ímã e vice-versa, chamando atenção para os fatores que prejudicavam a observação do efeito. Mostrou, ainda, que em muitos experimentos não se observava o movimento rotacional, pois este ficava escondido por fatores externos ao eletromagnetismo, como o atrito entre agulhas imantadas e fios condutores.

Essas conclusões de Faraday distanciavam-no em muito das explicações dos mecanicistas (representados, por exemplo, por Biot) que, ao defenderem a redução de todos os fenômenos da natureza a uma análise mecânica, tomavam por modelo de explicação a ação linear à distância de elementos infinitesimais, nos moldes da atração gravitacional.

Ampère não era um genuíno mecanicista, mas isso não o fez negar a análise matemática, nem muito menos deixar de interpretar os fenômenos à luz de ação linear entre os elementos, no caso dele, correntes elétricas. Naquele momento, ele já havia apresentado uma estrutura para o eletromagnetismo, baseada em atração e repulsão em linha reta entre elementos de corrente elétrica, de acordo com várias análises experimentais. Assim, Faraday não podia defender sua tese sobre o aspecto rotacional do fenômeno sem reavaliar e discutir aquelas conclusões, e foi nesse sentido que retomou o trabalho de Ampère sobre atração e repulsão de fios condutores lineares. Dessa análise concluiu, que todas as diferentes atrações e repulsões observadas naquelas situações eram fruto de combinação de vários movimentos rotacionais, e que, na verdade, toda ação eletromagnética se dava em linha curva.

Analisando os trabalhos já existentes sobre eletromagnetismo, Faraday se propôs a investigar a identidade proposta por Ampère entre bobinas, espiras e ímãs. Em suas análises, se contrapôs a Ampère, rejeitando o caráter linear atribuído por aquele cientista à ação de uma corrente elétrica sobre uma outra, porém não negou a tese de que tanto o efeito magnético observado com os ímãs, quanto aqueles explorados com o fio condutor possuíam a mesma causa. Apesar dessa aceitação, continuou discutindo experiências as quais, para ele, evidenciariam

que, apesar das semelhanças, os ímãs e as bobinas apresentavam características distintas.

Apesar das divergências, Faraday e Ampère apresentaram pontos em comum em suas trajetórias. Por exemplo, ambos tomaram o movimento da agulha imantada próxima a um fio condutor como um fenômeno global e não local. Consideraram o experimento de Oersted não o fim de um percurso, mas o pontapé inicial de uma nova linha de pesquisa a ser investigada. Para eles, o eletromagnetismo não causava desconforto, como para os mecanicistas, mas indicava a possibilidade de mostrar com novos experimentos uma natureza não mais formada por corpúsculos não detectáveis. Faraday e Ampère mantiveram um diálogo que se concretizou em cartas trocadas ao longo dos primeiros anos da década de 1820.

Esses pontos em comum não obscurecem as grandes divergências. Faraday sempre ia ao laboratório buscar respostas para as suas questões. Fora isso, não se contentava em usar resultados experimentais que não houvessem sido obtidos por ele. Sua visão de ciência era diferente da de Ampère, ele mesmo buscando explicações físicas para os fenômenos com os quais trabalhava, não tinha a mesma disposição daquele cientista em estabelecer hipóteses sobre a causa dos efeitos estudados. O laboratório era o seu ponto de apoio, em função de sua grande habilidade como experimentador.

Por conseqüência da correspondência com Ampère, Faraday conheceu, em 1825, o livro escrito por Demonferrand: “*Manuel d'électricité dynamique*” (1823), no qual o autor afirmava que uma corrente elétrica em um condutor tendia a induzir uma corrente permanente e de mesmo sentido em um outro colocado na vizinhança do primeiro. Faraday, acreditando que todas as colocações presentes no livro estavam diretamente respaldadas por Ampère, considerou-as como verdadeiras em suas investigações futuras a respeito das correntes induzidas (ROMO; DONCEL, 1994).

Faraday mostrava interesse a respeito dos possíveis casos de indução. A experiência de Oersted mostrara que uma corrente elétrica produzia um efeito magnético. Ora, se a unidade era algo fundamental na natureza, por que um fenômeno magnético puro, provocado por um ímã, não poderia “gerar” corrente elétrica? A indução lhe aparecia como um caminho possível para encontrar a unidade procurada.

Buscando evidências experimentais de fenômenos relacionados à indução, Faraday construiu diversos experimentos. Como fruto dessa análise, mostrou que, ao se conectar e desconectar a pilha de um circuito, era possível induzir corrente em um outro que estivesse na vizinhança do primeiro. E, ao se introduzir uma barra magnetizada no interior de uma bobina, obtinha-se corrente induzida na mesma, enquanto a barra estivesse em movimento. Suas experiências indicaram também que Demonferrand errara nas colocações iniciais: o efeito da indução era transitório.

Faraday buscou uma explicação única para as situações evidenciadas em 1831, defendendo ser toda indução magnética observada fruto de indução elétrica. Assumindo, então, como válida tanto a teoria de Ampère, de que todo efeito magnético era produzido por correntes circulares, quanto a proposição de Demonferand de que a corrente induzida apresentava mesmo sentido daquela que a induziu, explicou a indução de corrente elétrica decorrente de movimento de ímã, como provocada pelas supostas correntes elétricas existentes no interior do ímã.

As conclusões iniciais de Faraday, que foram posteriormente rejeitadas, eram reforçadas pela comparação que fez entre os casos de indução eletromagnética e os de indução eletrostática. Nesta última, observava-se que a carga induzida era sempre oposta àquela que a induziu, uma vez que cargas de sinais opostos se atraíam. De forma similar, na indução eletromagnética, a corrente induzida apresentaria o mesmo sentido daquela que a induziu, pelo fato de correntes elétricas paralelas e de mesmo sentido se atraírem. Assim, a corrente elétrica estabelecida no condutor pela barra magnética apresentaria a mesma direção da corrente supostamente existente no interior do ímã. Semelhantemente, a corrente induzida por uma outra corrente teria o mesmo sentido daquela que a induziu. Seguindo essa linha de raciocínio, Faraday formulou uma lei preliminar da indução, encontrada no manuscrito não publicado “*Serie I*” do primeiro volume da obra “*Experimental Researches in Electricity*”. Nele, existem passagens que indicam que Faraday analisou todos os casos de indução nos moldes acima descritos, assumindo a premissa de que todo tipo de indução poderia ser resumido à indução de corrente elétrica sobre uma outra corrente elétrica.

Faraday era um cientista que sempre analisava questões experimentais. Assim, o ato de ter escrito o manuscrito não o levou a interromper sua investigação experimental para explorar os possíveis casos de indução. Por isso, pouco tempo depois de estabelecer explicações a respeito dos casos de indução, mas antes ainda de publicá-las, as experiências suscitaram novas questões (ROMO; DONCEL, 1994).

Dúvidas levaram-no ao laboratório, onde realizou uma série de cuidadosas experiências envolvendo indução de corrente sobre corrente. Nas novas situações criadas, comparou a magnetização produzida em uma agulha ora pelo circuito primário, ora pelo secundário. Também estudou a magnetização provocada em barras sobre as quais havia enrolado os circuitos primário e secundário. A investigação apurada das novas situações mostrou-lhe que a lei anteriormente estabelecida continha um erro, pois a corrente elétrica induzida no momento em que o contato do circuito era estabelecido apresentava sentido contrário àquela que a induziu. Fora isso, reconheceu que, nos casos de indução provocados por movimento relativos de magnetos e fios condutores, a corrente induzida era, ao contrário do que estabelecera, oposta àquela do magneto, ou àquela que o tornara um magneto.

O reconhecimento desses erros impôs a Faraday algumas revisões, que foram publicadas na “*Série I*” do “*Experimental Researches in Electricity*”. Esse trabalho ainda não contém uma explicação única e clara para todos os casos de indução. Faraday se limitou a corrigir as falhas e explicar o caso de indução problemático, porém essa falta de unidade não se manteve por muito tempo. Na “*Série II*”, publicada pouco tempo depois, os casos de indução explorados foram retomados. Novas análises experimentais foram acrescidas, de forma que todas as situações de indução foram explicadas como tendo sido provocadas por variações nas linhas de força magnética. Ainda nesse texto, Faraday admitiu que não apenas os ímãs e as bobinas apresentavam ao seu redor linhas de força magnética, mesmo um simples fio condutor estaria, quando por ele passasse uma corrente elétrica, envolvido em todas as partes por tais linhas de força, que apresentavam forma de anéis, cuja intensidade diminuía conforme aumentava a distância ao fio.

Mesmo reconhecendo que, após encontrar contradições, Faraday rapidamente estabeleceu uma lei para explicar os casos de indução, não podemos considerar que isso ocorreu em um passe de mágica. Faraday nunca aceitou a ação à distância e sempre considerou que o meio externo como um todo se encontrava perturbado pelos condutores e ímãs. Seus estudos iniciais, experimentos e análises teóricas levavam-no a solucionar os problemas referentes à indução recorrendo às linhas de força magnética.

Interessante destacar que as leis de indução apresentadas por ele trouxeram grandes novidades para a indústria. Em 1832, como consequência daquele trabalho, um jovem instrumentador francês, Hippolyte Pixu, exibiu um dínamo para a Académie des Sciences e, em 1834, em Londres, o instrumentador E. Clarke desenvolveu um aprimoramento de um gerador elétrico. O trabalho de Faraday foi rapidamente apropriado pela indústria, mostrando o quanto as pesquisas em laboratório podiam ser fundamentais para o desenvolvimento industrial.

No processo de discussão da natureza da indução, o afastamento entre Ampère e Faraday foi se concretizando, chegando a ponto de Faraday negar totalmente a teoria, que inicialmente aceitara, de que todo efeito magnético poderia ser explicado como resultado de circulação de correntes elétricas.

Faraday trilhou um caminho tortuoso. O laboratório foi seu mestre, mas as respostas não foram suavemente encontradas, elas só se anunciaram à medida que os questionamentos sobre os fenômenos de indução aumentavam. Essa característica do trabalho de Faraday, tão distante de nossas salas de aula, ajuda a evidenciar o quanto o processo de construção da ciência é complexa, fruto de uma atividade tortuosa de idas e vindas. Ao longo de seus trabalhos, os cientistas dialogam com seus contemporâneos, aproximando-se de uns, afastando-se de outros e, ainda, abandonando parceiros antigos e construindo novas parcerias. Essa rede de complexidade precisa ser explorada em sala de aula, pois do contrário a ciência se apresentará como um conhecimento construído linearmente, progressivamente,

e, portanto, imune aos questionamentos daqueles que não se envolvem diretamente com sua produção.

V. Construindo uma proposta pedagógica

Um currículo dinâmico e produtor é aquele construído pelos professores junto com os alunos no cotidiano escolar. Por isso a estrutura que apresentaremos não pretende servir de modelo para nenhum professor, mas apenas ser útil para problematizar, a partir do conhecimento de uma prática pedagógica concreta, a pertinência de uma abordagem histórica-filosófica no ensino de ciências.

O curso descrito teve duração de quatro meses, com uma carga horária semanal de três aulas de cinquenta minutos. Com o intuito de tornar clara a apresentação, iremos mostrar os temas debatidos em sala divididos em unidades. Para cada uma delas, indicaremos os pontos enfatizados, assim como as estratégias utilizadas para levantar as questões selecionadas.

Unidade I: Antecedentes do eletromagnetismo

O objetivo desse tópico foi apresentar o ambiente científico em que Oersted, Ampère e Faraday viveram, a partir do estudo do contexto científico-cultural dos séculos XVII e XVIII.

Abordamos questões filosóficas referentes ao Iluminismo e à concepção mecanicista de natureza. Como esse não era o tema central do nosso trabalho, utilizamos, para construir um panorama cultural do século XVIII, conhecimentos dos alunos apreendidos nas aulas de Artes, História, Filosofia e Literatura.

Paralelamente à construção desse esquema, trabalhamos experiências básicas de eletrostática desenvolvidas ao longo do século XVIII, como por exemplo, garrafa de Leyden. Os experimentos foram realizados pelos alunos⁶ e, quando isso não era possível, como no caso dos de Galvani, apresentamos aulas expositivas utilizando recursos visuais, como imagens históricas.

Unidade II: O nascimento do eletromagnetismo

Essa é a unidade central da proposta curricular, visto que nela foram apresentadas as questões filosóficas e científicas que estruturaram a primeira fase do eletromagnetismo. Para tratar o assunto, discutimos os seguintes temas:

A “Naturphilosophie” e seu contraponto à visão mecanicista de natureza. Nesta unidade, analisamos os questionamentos e as propostas dessa corrente filo-

⁶ Foram construídos textos para serem trabalhados com os alunos, com o intuito de apresentar um caminho para execução de um experimento e questões reflexivas sobre o mesmo.

sófica, assim como a relacionamos com o movimento romântico estudado nas aulas de Literatura. Esse trabalho foi muito rico, e a parceria com os professores de História, Filosofia, Literatura e Artes (mesmo que restrita à retomada de temas discutidos por esses professores) permitiu explorar recursos nem sempre usados na educação científica, como leitura de poesias, contos, discussão de filmes e peças de teatro. Fora a exploração desses recursos, esse tipo de parceria permitiu ao aluno, de forma mais completa, compreender o contexto cultural em que o eletromagnetismo nasceu e as questões histórico-filosóficas e culturais com as quais os cientistas que construíram aquele saber se defrontaram.

A apresentação de Hans Christian Oersted, com dados biográficos, destacando-se o ambiente cultural-científico da Europa do início do século XIX, a importância do trabalho de Humphry Davy e também as investigações a respeito das relações entre eletricidade, Química, calor, óptica e magnetismo realizadas por diversos filósofos naturais foram temas explorados nas aulas.

Após discutirem os interesses científicos de Oersted e alguns de seus trabalhos anteriores a 1820, os alunos realizaram, com a orientação de um roteiro, o experimento da agulha imantada. Nessa etapa, eles receberam orientações para executar a atividade contendo uma descrição do experimento propriamente dito e textos originais de Oersted, nos quais eram descritas as conclusões do autor a respeito de tal experimento. Terminada a experiência, trabalhou-se, em aulas expositivas, o impacto do trabalho de Oersted no mundo científico e a resposta de alguns mecanicistas, como Jean-Baptiste Biot, ao experimento dele.

A apresentação de Andre-Marie Ampère com dados biográficos mereceu atenção. Foram destacados os questionamentos filosóficos deste e seus contatos com o grupo dos não-laplacianos na França.

Também foram trabalhados o interesse de Ampère pelo eletromagnetismo, a construção do galvanômetro e seu funcionamento. Os alunos construíram este aparelho, a partir de um projeto apresentado no livro de Santo Diez (1988).

A elaboração de artefatos técnicos pelos estudantes ajuda-os a perceber as dificuldades oriundas da sua construção, auxiliando-os a compreender o trabalho dos cientistas como tarefas que necessitam de esforço e dedicação, não se constituindo por isso em passes de mágica.

Outro tema abordado foi a teoria de Ampère de que todo efeito magnético era produzido por correntes elétricas circulares. Para trabalhá-la, os alunos realizaram algumas experiências, tais como: a das bobinas achatadas, a da imantação de uma agulha no interior de uma bobina e aquela que permite visualizar atração ou repulsão entre dois fios condutores lineares.⁷ Os experimentos foram

⁷ O livro “The story of electricity with 20 easy-to-perform experiments” de George de Lucenay Leon apresenta descrição de experimentos históricos de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo, sendo um excelente recurso aos professores que desejam incluí-los em sua prática pedagógica.

sempre apresentados dentro do contexto histórico em que foram desenvolvidos; alguns roteiros de orientação continham textos originais de Ampère.

Esse tópico teve seu fim com a realização, por parte dos alunos, da experiência da bobina imersa em água, idealizada e implementada por Faraday, com o propósito de problematizar a teoria de Ampère. A atividade foi realizada sem que Faraday tivesse sido mencionado a eles.

Michael Faraday foi então apresentado, destacando-se o fato de não ter tido uma formação regular em ciências e em matemática e ressaltando-se a sua formação religiosa e o seu perfil experimentador.

Após esse momento, a experiência da bobina imersa em água foi retomada e os questionamentos trazidos por Faraday a Ampère e as respostas deste analisados.

A indução foi, então, introduzida utilizando-se experimentos simples que evidenciavam o fenômeno. Nas discussões, os alunos defrontaram-se com as conclusões preliminares de Faraday, do ano de 1831, a respeito dos fenômenos eletromagnéticos e a influência da teoria eletrodinâmica de Ampère no estabelecimento dessas conclusões. Logo a seguir, foi discutida a revisão de Faraday a suas conclusões iniciais e a sua explicação final, utilizando o conceito de cortes em curvas magnéticas.

O gerador e o motor elétrico foram analisados e contextualizados. Foi apresentado um projeto de construção de um motor elétrico. Como transformar o projeto do papel em um artefato que funciona requer ajustes; isto colocou os alunos diante de problemas técnicos muito importantes à formação técnica-científica.

A Lei de Indução de Faraday (nos moldes apresentados nos livros didáticos) e o conceito de linhas de força foram, por fim, estudados.

Após explorar bastante os fenômenos de indução, discutimos a importância do meio nos fenômenos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, e a necessidade de se repensar a constante apresentada por Coulomb em sua lei.

Trabalhamos, ainda, a Lei de Lenz e a interpretação dada por Faraday aos fenômenos da eletrólise e a nova nomenclatura dos elementos envolvidos naquele processo.

Unidade III: O eletromagnetismo após Faraday

O objetivo aqui foi discutir o conceito de campo elétrico, magnético e eletromagnético. A análise histórica não foi tão detalhada como nas unidades anteriores. Exploramos o conceito de campo na Física.

A partir da apresentação de Hertz, foram discutidas as ondas eletromagnéticas, a luz interpretada como uma onda eletromagnética, assim como as transmissões de sinais de rádio e televisão.

Unidade IV: Circuitos elétricos

O objetivo dessa unidade foi trabalhar com os alunos a eletrodinâmica, dando ênfase à lei de Ohm e suas aplicações. Os itens explorados foram: resistência elétrica, resistividade elétrica e suas respectivas unidades no Sistema Internacional.

VI. Comentários finais

O trabalho pedagógico descrito foi avaliado através do contato diário com os alunos, uma vez que exercíamos a função de professores das turmas em que o currículo discutido foi implementado. Optamos, nesse caminho, por uma avaliação de caráter qualitativo, sem nos preocuparmos com tabelas estatísticas a respeito de mudanças de comportamento dos estudantes. As análises que apresentamos foram enriquecidas pela leitura dos textos que os alunos, individualmente ou em grupo, construíram durante a realização dos experimentos ou das avaliações formais.

Como não utilizamos turma de controle, fica impossível dizer se nossos alunos aprenderam mais Física com essa abordagem. Mas, como nosso objetivo com o ensino dessa ciência não é o trabalho do conceito pelo próprio conceito, podemos tecer algumas avaliações da proposta.

Em geral, os alunos mostraram-se bastante motivados com o trabalho. Conforme as aulas iam se desenvolvendo, eles discutiam mais o assunto, colocando inclusive questões que lhes afligiam pessoalmente, como as relações entre ciência e fé. Nesse sentido, defendemos que o estudo dos conteúdos de forma contextualizada, de modo a levantar questões internas e externas ao processo de produção científica, permite aos estudantes problematizarem a idéia de que esse é um conhecimento distante de suas vidas, que ou apresenta-lhes regras a serem seguidas ou interfere prejudicialmente na natureza. Ao conhecê-la como algo construído por homens inseridos em um espaço e tempo histórico específico, eles enxergaram-na como parte da cultura, que como tal precisa ser por eles conhecida e discutida. Esse olhar crítico à ciência não promove, em momento algum, descrença no conhecimento científico. Uma abordagem histórico-filosófica consistente faz com que entendam a ciência como um conhecimento objetivo e promissor, que permite ao homem, com limites, conhecer a natureza.

Outro fator importante a ser destacado é que o trabalho em sala de aula mostrou que um dos tópicos a ser selecionado para um estudo histórico aprofundado ao ensino de Física no nível médio é a primeira fase do eletromagnetismo, período de Oersted a Faraday. Isto acontece porque esse é um momento que proporciona aos aprendizes um primeiro contato com o tema, permitindo-lhes estudar questões importantes à compreensão das novidades trazidas por esta parte da Física, como por exemplo, o que vem a ser um fenômeno eletromagnético, linhas de força, indução eletromagnética.

Fora essa questão ligada aos conceitos científicos propriamente ditos, o estudo histórico-filosófico não factual desse período proporciona contato com controvérsias referentes ao desenvolvimento do eletromagnetismo, que suscitaram questões teóricas e experimentais muito importantes à construção dessa ciência. Junto a isso, os alunos encontram cientistas que, muitas vezes ao longo de sua trajetória profissional, aliaram-se a teorias que se mostraram posteriormente insatisfatórias e que, por isso, precisaram ser por eles mesmo abandonadas em favor de outras que melhor respondiam aos questionamentos experimentais, mas que nem por isso estavam contra as inquietações filosóficas que permeavam aquele trabalho. Assim, a inclusão do estudo histórico-filosófico desse tema, suscita discussões sobre a ciência que problematizam a idéia de uma ciência linear construída exclusivamente por meio de descobertas de verdades inquestionáveis.

Com a abordagem histórico-filosófica do período enfatizado, os alunos defrontam-se com questões externas à ciência, como aquelas trazidas pela “Naturphilosophie” que foram fundamentais ao desenvolvimento de análises experimentais e de teorias científicas construídas no início do século XIX. Essa confrontação discute a ciência, colocando em xeque seus limites e possibilidades, pois mostra um conhecimento objetivo, que busca explicar fenômenos evidenciados na natureza ou no laboratório, mas que nem por isso deixa de absorver preocupações e questionamentos filosóficos de uma determinada época.

Além de todos os pontos aqui enfocados, não podemos deixar de mencionar que a discussão do desenvolvimento da primeira fase do eletromagnetismo em sala de aula, além de criar espaços de reflexão sobre a ciência, possibilitou a compreensão de questões técnicas internas à ciência. Conforme o desenvolvimento do eletromagnetismo era discutido, os alunos se confrontavam com idéias filosóficas e teorias científicas, aprendendo, nesse processo, o status atual da ciência estudada, sem que verdades inquestionáveis tenham sido apresentadas.

Referências bibliográficas

ABRANTES, P. **Imagens de natureza, imagens de ciência**. São Paulo: Papirus Editor, 1998.

AMPÈRE, A. M. **Correspondence et souvenirs (1805 a 1864)**. Recueilli par Madame H. C. Paris: Tome Premier, 1875.

_____. **Memoire sur les effets du courant électrique**. Paris: Chez Crochard Libraire, 1820.

_____. **Recueil d'observations electro-dynamic**. Paris: Chez Crochard Libraire, 1820.

_____ **Theorie mathématique des Phénomènes électro-dynamiques uniquement déduite de l'expérience.** Paris: Éditions Jacques Gabay, 1827.

ARRIBAS, S. D. **Experiências de física ao alcance de todas as escolas.** 2. ed. Rio de Janeiro: FAE, 1988.

BARTH, M. Electromagnetic rediscovered using original texts. **Science & Education**, Netherlands, v. 9, n. 4, p. 375-387, 2000.

BINNIE, A. Using the history of electricity and magnetism to enhance teaching. **Science & Education**, Netherlands, v. 10, n. 4, p. 379-389, 2001.

BRAGA, M. A. B. **A nova Paidéia: ciência e educação na construção da modernidade.** Rio de Janeiro: e-Papers/COPPE-UFRJ, 2000.

CANEVA, K. Ampère the etherians and the Oersted connexion. **The British Journal for the History of Science**, Londres, v. 13, n. 44, p. 121-138, 1980.

_____ Physics and Naturphilosophie: A Reconnaissance. **History of Science**, v. 35, p. 35-78, 1997.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCHI, A. I. History, Philosophy and Science Teaching: some answers to how? **Science & Education**, Netherlands, v. 9, n. 5, p. 427-448, 2000.

FARADAY, M. On some new electro-magnetical motions and on the theory of magnetism, 1821. In: **GREATS BOOKS OF THE WESTERN WORLD**, Enciclopedia Britannica. Chicago, London and Toronto, 1952. v. 45, p. 795-807.

_____ Experimental Researches in Electricity - First Series, 1831. In: **GREATS BOOKS OF THE WESTERN WORLD**, Enciclopedia Britannica. Chicago, London and Toronto, 1952. v. 45, p. 265-285.

_____ Experimental Researches in Electricity - Second Series, 1832. In: **GREATS BOOKS OF THE WESTERN WORLD**, Enciclopedia Britannica. Chicago, London and Toronto, 1952. v. 45, p. 286-302.

_____ Experimental Researches in Electricity - Fifth Series, 1833. In: **GREATS BOOKS OF THE WESTERN WORLD**, Enciclopedia Britannica. Chicago, London and Toronto, 1952. v. 45, p. 327-345.

_____ On Some Points of Magnetic Philosophy, 1855. In: **GREATS BOOKS OF THE WESTERN WORLD**, Enciclopedia Britannica. Chicago, London and Toronto, 1952. v. 45, p. 830-837.

HARMAN, P. M. **Energy, Force and Matter: the conceptual development of nineteenth-century physics.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

HENDRY, J. **James Clerck Maxwell and the theory of the eletromagnetic field.** Bristol, Boston: Adam Hilger Ltda, 1986.

HEIBRON, J. L. **Electricity in the 17th and 18th Centuries:** a study in early modern sciences. Mineola, New York: Dover Publications INC, 1999.

HOTTECKE, D. How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. **Science & Education**, Netherlands, v. 9, n. 4, p. 343-362, 2000.

LEON, G. D. **The story of electricity:** with 20 easy-to-perform experiments. New York: Dover Publications, 1988.

LUDGE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação:** abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, R. A. Oersted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, n. 10, p. 89-114, 1986.

_____ Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 5, n. Especial, p. 49-57, 1988.

MATTHEWS, M. R. **Science Teaching:** the role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge, 1994.

MAXWELL, J. C. On Faraday's Lines of Force. *Scientific Papers*. Cambridge, p. 155-229, 1890.

MORAES, A. **Contextualizando o fazer:** subsídios para uma educação científica com enfoque histórico-filosófico. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MORAES, A.; FREITAS, J.; REIS, J. C.; BRAGA, M. A interdisciplinariedade no ensino das ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 32-46, abril. 1998.

MORUS, I. R. Galvanic cultures: electricity and life in the early nineteenth century. **Endeavour**, v. 22, n. 11, p. 7-11, 1998.

OERSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, n. 10, p. 115-122, 1986.

PIETROCOLA, M. **A história e a epistemologia no ensino de ciências: dos processos aos modelos da realidade na educação científica.** *Ciência e Perspectiva – Estudos, Ensaios e Debates*. Coleção História da Ciência. Rio de Janeiro: MAST/MCT – SBHC, v. 1, 2003.

REIS, J. C.; BRAGA, M.; FREITAS, J.; MORAES, A. History, Science and Culture: Curricular Experiences in Brazil. **Science & Education**, v. 10, n. 4, p. 369-378, 2001.

ROMO, J.; DONCEL, M. G. Faraday's initial mistake concerning the direction of induced currents and the manuscript of series I of his researches. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 47, p. 291-385, 1994.

WILLIAMS, L. P.; HENRY, J. S. **The history of science in western civilization: modern science, 1700-1900**. Lanham, New York, London: University Press of America, 1978. v. III.

WILLIAMS, L. P. **The origins of Field Theory**. Boston, London: University Press of America, 1980.

WILLIAMS, T. **Biographical dictionary of scientists**. Glasgow: Harper Collins Publishers, 1994.

WHITTAKER, E. **A History the Theories of Aether & Electricity**. New York: Dove Publications, 1989.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. 1989. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.