

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

MAYARA RICARDO DE OLIVEIRA

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM DA RELAÇÃO ENTRE OS
FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS E SUA CONTROVÉRSIA EM
SALA DE AULA**

MARINGÁ, 2014

MAYARA RICARDO DE OLIVEIRA

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM DA RELAÇÃO ENTRE OS
FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS E SUA CONTROVÉRSIA EM
SALA DE AULA**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

MARINGÁ, 2014

EPÍGRAFE

Se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que atualmente nos domina.

(Thomas S. Kuhn)

RESUMO

Os temas relacionados à História da Ciência e sua importância para a aprendizagem do aluno são pouco discutidos em sala de aula. Com isso, a visão fechada que os alunos têm sobre a ciência fica mais evidenciada, os alunos vêem a ciência como uma verdade linear e absoluta. Um dos exemplos do uso da História da Ciência que pode ocorrer em sala de aula é a abordagem sobre a controvérsia existente por trás do experimento de Orsted, 1820, onde há uma divergência na explicação de vários cientistas sobre a relação existente entre os fenômenos elétricos e magnéticos, que começaram a ser estudados a partir deste experimento. Neste trabalho pretende-se analisar essa controvérsia, destacando-se os estudos feitos por Ampère, Orsted e Faraday e também sugerir uma proposta de aplicação deste tema em sala de aula. Para tal compreensão far-se-á a utilização de análise bibliográfica para embasamento teórico, que culmine na explicação sobre a controvérsia e também sobre a importância do uso da História da Ciência em sala de aula.

Palavras-chaves: Ensino de Física. História da Ciência. Experimento de Orsted. Controvérsia.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
1. A RELAÇÃO ENTRE OS FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS	9
1.1. Interações Físicas: O que significa ação a distância e ação por contato?.....	9
1.2 Hans Christian Orsted – O experiment de Orsted e sua repercussão.....	11
1.3 O experimento de Orsted: Interpretação do próprio Orsted	15
1.4 André-Marie Ampère e sua interpretação para o experimento de Orsted.....	20
1.5 Michael Faraday e sua interpretação para o experimento de Orsted	26
2. CONCEPÇÕES DE ENSINO E SEU DESENVOLVIMENTO: UM ENFOQUE NA ABORDAGEM DO ENSINO TRADICIONAL E CONSTRUTIVISTA.....	30
3. HISTÓRIA DA CIÊNCIA.....	39
3.1 A importância da utilização em sala de aula	39
3.2 Dificuldades na abordagem em sala de aula	42
4. O EXPERIMENTO DE ORSTED E OS LIVROS DIDÁTICOS.....	53
5. UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM DO EXPERIMENTO DE ORSTED EM SALA DE AULA	55
6. INDICAÇÕES DE CONCEPÇÕES SEMELHANTES	57
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO

Podemos observar que nas escolas dificilmente temas relacionados à História da Ciência e sua importância são abordados. Isso ocorre, muitas vezes, pela falta de conhecimento e preparação do professor que, em sua formação, não teve o devido contato com essa linha de pesquisa. Esse é um dos principais problemas relacionados à História da Ciência, a carência de professores com formação adequada para pesquisar e ensiná-la corretamente, além da falta de material didático adequado para se usar no ensino (MARTINS, 2006). Com isso os alunos não tomam conhecimento dos caminhos que levaram à aceitação das teorias estudadas hoje em dia.

Na maioria das vezes os alunos acabam tendo uma visão fechada sobre Ciência e a tomam como verdade absoluta, linear e imutável, o que os afastam do estudo das ciências, por não verem sentido em estudar algo que já está definido e determinado. Por isso, é de suma importância a

[...] contextualização sociocultural, pois permite, por exemplo, compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época (BRASIL, 2006, p. 64).

O uso *adequado* de episódios históricos em sala de aula permite ao aluno compreender que a Ciência está relacionada com a tecnologia e sociedade, mostrando que a Ciência não é algo isolado e que faz parte de um desenvolvimento histórico, cultural, humano e que sofre influências e influencia vários aspectos da sociedade (MARTINS, 2006).

A utilização adequada da História da Ciência e a abordagem de seus temas em sala de aula poderia aproximar os alunos das disciplinas que são tão rejeitadas, como a Física, Química e Biologia, ajudando os alunos a perceberem que a Ciência é uma construção social, mostrando que as aulas podem ser mais desafiadoras e reflexivas, além de proporcionar ao aluno uma participação mais ativa em sala, favorecendo a discussão e propiciando assim um pensamento mais crítico (MATTHEWS, 1995). Além de “[...] enriquecer o ensino de Física e tornar mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana” (BRASIL, 2006, p. 64).

Um dos exemplos do uso da História da Ciência que pode ser levado para a sala de aula é a abordagem sobre a controvérsia existente por trás do experimento de Orsted, de 1820, em que há uma divergência na explicação de vários cientistas sobre a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, que começaram a ser estudados a partir deste experimento.

Essas divergências nas explicações dos fenômenos observados podem ser atribuídas em parte pelas concepções filosóficas que orientavam os argumentos de cada cientista. Vários trabalhos que foram desenvolvidos na época eram baseados na visão mecanicista, que defendia a Ciência newtoniana e entendia a natureza como um conjunto de corpúsculos e de fluidos em movimento, sendo que a configuração e o movimento desses elementos que seriam os responsáveis pela explicação dos fenômenos. A todos os efeitos encontrados na natureza haveria um sistema de partículas ou de fluidos que relacionavam-se entre si por forças que eram passivas de ação e reação (GUERRA *et al*, 2004).

Contudo, no final do século XVIII surgiu um movimento conhecido por “Naturphilosophie”, que teve Schelling (1775-1854) como um dos maiores representantes em termos epistemológicos e filosóficos. Ele defendia que a essência da natureza era a permanente atividade de oposição de forças de atração e repulsão. O mundo estaria em eterno conflito, no qual sempre uma das forças iria se sobrepôr 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, além disso que seria possível uma manifestação específica se converter em outra manifestação (GUERRA *et al*, 2004).

Ao analisar as concepções filosóficas e o contexto científico da época é possível discutir com os alunos como esse contexto influencia no desenvolvimento de uma teoria e também a complexidade de estabelecer uma explicação que engloba todos os fenômenos observados.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a controvérsia entre as explicações dadas aos fenômenos envolvendo o experimento feito por

Orsted, em 1820, destacando os estudos feitos por Ampère, Orsted e Faraday. Com a análise, pretendemos mostrar as várias explicações do fenômeno e elaborar uma sugestão de proposta de abordagem em sala de aula, com o intuito de alertar os professores da importância de se abordar o assunto com seus alunos colocar depois essa parte, pois

[...] com o auxílio da história e da filosofia da ciência, as aulas de ciências poderiam se tornar mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; poderiam permitir um entendimento mais integral da matéria científica, contribuindo para superar a falta de significado dos conceitos ensinados [...] (MATTHEWS, 1995, p. 165. In: GARDELLI, 2004, p. 1-2).

Este trabalho pode contribuir como possível referência de apoio aos professores, para que esses possam se familiarizar com o tema e aproveitá-lo como fonte de posterior aplicação didático-pedagógico em sala de aula. Afinal, “[...] o estudo histórico poderia permitir aos professores, portanto, compreender melhor o assunto, entender as dúvidas de seus alunos, respeitar as dificuldades do assunto e tentar abordar o problema com cuidado [...]” (MARTINS, 1988, p. 56).

Com esse propósito, dividimos o trabalho em oito seções. Nesta primeira, apresentamos linhas gerais do tema abordado, nosso objetivo e justificativa. Na segunda seção fizemos uma introdução sobre as interações físicas, para familiarizar os leitores com as possíveis abordagens na explicação deste o fenômeno e, por fim, fizemos a análise do experimento de Orsted e as explicações segundo Ampère, Orsted e Faraday. Na terceira seção, fizemos uma descrição sintetizada de como ocorreu o desenvolvimento do ensino e as concepções de vários pesquisadores sobre as pedagogias desenvolvidas, focando nosso interesse na pedagogia tradicional e na construtivista. Na quarta seção, fizemos uma análise das contribuições do uso da História da Ciência em sala de aula, em todos os seus aspectos e dificuldades, discutindo também a sua utilidade na abordagem da controvérsia em sala de aula. Na quinta seção fizemos uma breve análise de como o experimento é abordado nos livros didáticos. Na sexta seção elaboramos e sugerimos uma proposta de abordagem da controvérsia em sala de aula. Na sétima seção categorizamos e analisamos as indicações de concepções semelhantes entre os alunos e os

cientistas da época. Na oitava e última seção, apresentamos as considerações finais do trabalho.

1. A RELAÇÃO ENTRE OS FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

Neste capítulo abordaremos sobre os conceitos de ação a distância e ação por contato, citando exemplos para ajudar o leitor a entender as diferenças entre eles e também sobre as concepções de cada cientista analisado, segundo a utilização desses conceitos.

1.1. Interações Físicas: O que significa ação a distância e ação por contato?

A explicação de como ocorre a transmissão da força entre dois corpos e como ocorre essa interação sempre foi um problema estudado na Física. Essa dúvida motivou os trabalhos de muitos cientistas, entre eles Maxwell:

A questão refere-se à transmissão da força. Sabe-se que dois corpos separados por uma certa distância exercem influência mútua sobre os movimentos um do outro. Dependerá esta ação da existência de uma terceira coisa, um agente de transmissão que ocupa o espaço entre os corpos, ou será que os corpos agem uns sobre os outros imediatamente, sem a intervenção de nada mais? (MAXWELL, *Scientific Papers*, v. 2, On Action at a Distance, p. 311. In: SILVA; KRAPAS, 2007, p. 471).

A discussão sobre essas interações levantaram duas possibilidades para explicar como a força é transmitida entre corpos afastados entre si. Uma delas dizia que “[...] essa transmissão ocorre através de um mediador, que segundo Maxwell seria o meio circundante aos corpos que interagem [...]” (SILVA; KRAPAS, 2007, p.472). A outra que “[...] essa ação se transmite a distância sem a necessidade de existência de qualquer mediador, ou seja, sem a participação do meio [...]” (SILVA; KRAPAS, 2007, p.472). Portanto, deveria ocorrer de forma instantânea e sem a intervenção do meio circunjacente aos corpos em interação.

Para maior entendimento, podemos analisar algumas situações onde ocorrem a ação a distância e a ação por contato. Alguns dos exemplos a seguir podem ser interpretados sob os dois olhares. Mas vamos descrevê-los de maneiras separadas para distinguir as duas explicações.

Um dos exemplos que pode ser explicado como sendo devido a uma ação a distância é o fenômeno interpretado por Newton da queda dos corpos em direção à Terra, lembrando que essa ação é mútua, ou seja, a Terra também sofre influência do corpo em queda. Outro exemplo é o da interação entre dois ímãs, que ocorre mesmo quando existe um vidro ou um material não magnético entre os dois. Além disso, a interação entre corpos carregados ou polarizados eletricamente e o efeito da atração e repulsão de fios percorridos por correntes elétricas também são exemplos de ação a distância, respeitando a reciprocidade de ação entre os corpos (ASSIS, 2006).

As interações por contato, por exemplo, podem ser observadas em casos mais simples do nosso dia-a-dia, como quando levantamos uma pedra e a seguramos, quando há uma colisão entre carros ou duas bolas de bilhar e até mesmo aqueles que ocorrem em fluidos, como o som que é transmitido no ar ou água através de condensações e vibrações desse fluido, entre outros exemplos (ASSIS, 2006). Mas também podemos usar os exemplos citados para a ação a distância, e explicá-los como devido a uma ação por contato, desde que a interação seja interpretada como sendo devido a um agente intermediário. Ou seja, não haveria contato direto entre os corpos, mas sim o contato do agente mediador com os dois corpos interagentes.

No caso da força gravitacional, a interação entre dois corpos que possuem massa seria explicada devido a um campo que é gerado ao redor desses corpos, esse campo é chamado de gravitacional. No caso das interações elétricas e magnéticas, há o conceito de linhas de força, que transmitem a força entre os dois corpos, ou seja, essas linhas de força seriam o agente intermediário mediando a força entre os corpos. Já no eletromagnetismo as interações seriam explicadas a partir do conceito de campo elétrico e magnético, como sendo o mediador da interação.

Atualmente no ensino das interações elétricas e magnéticas, apenas a discussão sobre campos elétricos e magnéticos são abordados em sala de aula, contudo essas interações podem ser explicadas sem a utilização do conceito de um agente intermediador, apenas por ação a distância. A não abordagem dessas diferentes explicações causa um prejuízo ao aluno, que não

fica ciente das discussões que enredaram a elaboração das teorias estudadas em sala, deixando-o com uma visão da ciência como algo linear e definido, não entendendo que a Ciência é uma construção humana e social. Apoiamo-nos na ideia de que

[...] Estudar a evolução de um conceito expõe a ciência a um olhar mais humano - portanto, mais falho -, que mostra suas idas e vindas, suas contradições, disputas e incertezas. Expõe o conceito a uma análise crítica, desnudando alguns caminhos da ciência na busca do conhecimento, caminhos que mostram que é possível que duas concepções sobre o mesmo tema coexistirem e se desenvolverem. A ciência admite a pluralidade teórica (SILVA; KRAPAS, 2007, p.476).

E mais, “o estudo dessa controvérsia ao longo da história tem sido de grande valor para repensar o ensino das interações físicas [...]” (SILVA; KRAPAS, 2007, p. 472), além de favorecer um maior entendimento do aluno em relação às interações físicas:

[...] Ao se extrapolar as concepções dos estudantes quanto à transmissão da ação, é possível introduzir essa contraposição de idéias o que, sem dúvida, constitui um excelente instrumento de discussão sobre um tema tão instigante como a natureza da interação física (SILVA; KRAPAS, 2007, p. 476).

Com o intuito de melhorar essa interpretação que os alunos têm da construção científica e favorecer um entendimento maior sobre as interações físicas, faremos uma abordagem das divergências existentes entre as explicações da relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Para isso, veremos adiante como Faraday, Orsted e Ampère explicaram essas interações.

1.2 Hans Christian Orsted – O experimento de Orsted e sua repercussão

As investigações que culminaram na primeira observação experimental da interação entre a eletricidade e o magnetismo são geralmente designadas ao dinamarquês Hans Christian Orsted (1777-1851). Contudo, muitos estudiosos da época não atribuíram à ele grande valor e achavam que essa observação havia sido feita de forma casual, diminuindo seu trabalho.

Através de alguns estudos mais cuidadosos é possível perceber que é necessário muito mais do que sorte ou acaso para realizar essas observações. Mesmo que as descrições quantitativas não tenham sido descritas por ele, é necessário valorizar seu trabalho e entender os estudos que foram feitos e as

dificuldades que ele enfrentou em sua descrição qualitativa. Por ser um fenômeno totalmente novo havia muitas ideias pré-concebidas sobre o assunto e além disso as propriedades de simetria que estavam envolvidas eram extremamente revolucionárias para a época, o que causavam maiores dificuldades ao analisar o fenômeno.

Orsted sempre esteve em contato com estudos, mesmo em áreas diferentes da Física. Trabalhou primeiramente como farmacêutico, adquirindo conhecimentos sobre Química e Física. Teve oportunidade de viajar e conhecer outros países, possibilitando maior compreensão sobre vários assuntos além de adquirir contatos com estudiosos importantes.

Em 1804, começou a lecionar Física na Universidade da Dinamarca, o que lhe proporcionou, além de seus antigos contatos, publicar vários artigos científicos. Orsted sempre esteve em contato com estudos e pesquisas e mesmo não sendo muito reconhecido antes de sua contribuição no eletromagnetismo, não podemos atribuir sua descoberta a um mero caso de sorte (MARTINS, 1986).

A relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos já era observada muito antes do experimento de Orsted em 1820. No século XVI, muito antes de Orsted, já havia conhecimento de que as bússolas sofriam perturbações durante uma tempestade. Mesmo que esses fenômenos não fossem explicados de forma clara, já se tinha alguma ideia dessa relação. A busca por respostas estimulava a realização de experiências buscando novas interações entre eletricidade e magnetismo, “[...] mas a procura não era totalmente cega: guiava-a uma suposição sobre as semelhanças entre as simetrias dos fenômenos elétricos e magnéticos” (MARTINS, 1986, p. 93).

Com a invenção da pilha de volta por Alessandro Volta em 1800, Orsted reconheceu sua importância para entender melhor a relação entre o galvanismo e a Química. Junto com Johann Wilhelm Ritter, conseguiu demonstrar a relação entre fenômenos elétricos, o calor, a luz e os efeitos químicos, mas ainda não havia conseguido estabelecer relações entre a

eletricidade e magnetismo (GARDELLI, 2004). Contudo, esse era um problema que ainda afligia vários cientistas da época e não somente Orsted.

A melhoria dos aparelhos devido a invenção da pilha de Volta, possibilitou o surgimento de uma fonte de corrente constante e isso fez com que ocorresse uma revolução tanto tecnológica para época quanto nos estudos da eletricidade em movimento. Esse novo fator instigou ainda mais os cientistas a tentarem achar explicações para a relação entre os fenômenos: eles se

[..] orientavam basicamente através das semelhanças e simetrias entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Era natural estabelecer-se uma analogia entre os pólos norte e sul de um ímã e cargas elétricas positivas e negativas, o que lhes permitia associar um ímã a um dipolo elétrico e a procurar não só interações entre os mesmos, mas também gerar com um deles os efeitos produzidos pelo outro (GARDELLI, 2004, p. 55).

Em seus estudos, Orsted descobriu que de alguma forma a corrente elétrica atuava sobre um ímã. A partir disso, começou a fazer mais experiências a fim de tentar determinar as propriedades desse fenômeno, antes de divulgá-lo. Em julho de 1820 ele decidiu divulgar seus estudos pois do seu ponto de vista “[...] Agora ele sabia como uma corrente elétrica atuava sobre uma agulha magnética, em todas as posições e direções imagináveis, e também formulara uma explicação dos efeitos observados” (MARTINS, 1986, p. 101).

Foi então que seu trabalho sobre essas interações foi divulgado e seu experimento ganhou proporções gigantescas no mundo dos pesquisadores, em que observou a deflexão de uma agulha imantada, sendo causada por um fio conduzindo corrente constante. Essa divulgação marca o início do que chamamos de *eletromagnetismo*, que se refere ao estudo da relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Temos que ter em mente que o termo *eletromagnetismo* surgiu, pela primeira vez, em artigos publicados por Orsted, assim como a palavra *eletromagnético*. Ele criou essas duas novas palavras para caracterizar sua descoberta da interação entre a corrente elétrica e uma agulha magnética (ASSIS; CHAIB, 2011).

Em sua experiência, Orsted observou e descreveu o seguinte:

[...] Os terminais opostos do aparelho galvânico são unidos por um fio metálico, que, por concisão, chamaremos de condutor de conexão ou fio de conexão. Atribuiremos o nome de conflito elétrico ao efeito que se manifesta nesse condutor e no espaço que o cerca.

A parte retilínea desse fio é colocada em posição horizontal, suspensa acima da agulha magnética, e paralela a ela. Se for necessário, o fio de conexão pode ser dobrado para que uma parte dele assuma a posição correta necessária à experiência. Nessa situação, a agulha magnética será movida, e a sua extremidade que está sob a parte do fio de conexão mais próxima ao terminal negativo do aparelho galvânico será desviada para oeste.

Se a distância entre o fio de conexão e a agulha magnética não exceder $\frac{3}{4}$ de polegada, o desvio da agulha fará um ângulo de cerca de 45° . Se a distância variar, o ângulo diminuirá à medida que a distância cresça. Além disso, o desvio depende da eficácia do aparelho [...].

[...] Se o fio de conexão é colocado em um plano horizontal sob a agulha magnética, todos os efeitos são como no plano acima da agulha, mas em direção inversa. Pois o polo da agulha magnética sob o qual está a parte do fio de conexão que está próximo ao terminal negativo do aparelho galvânico desvia-se para leste.

Para tornar mais fácil a memorização disso, pode-se usar a fórmula: O polo sobre o qual entra a eletricidade negativa gira para oeste, ou para leste se entra abaixo [...]. (ORSTED, (1820), Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética, 1986, p. 116-120).

Orsted não chegou a publicar seu trabalho em periódicos científicos, mas o enviou em forma de folheto para vários cientistas da época. Dominique François Jean Arago (1786 – 1853) então descreveu seu trabalho para a Academia de Ciências de Paris em 4 de setembro de 1820. O experimento causou muita descrença à Academia, o que fez com que Arago repetisse o experimento no dia 11 de setembro. A causa de tanta descrença e espanto pela comunidade científica era porque o experimento contrariava as ideias de simetria da época.

No experimento, inicialmente o fio e a agulha definem um plano vertical e os dois encontram-se paralelos um ao outro. Quando o fio é percorrido por uma corrente um dos polos da agulha imantada deixa o plano vertical inicial, como representado na figura a seguir:

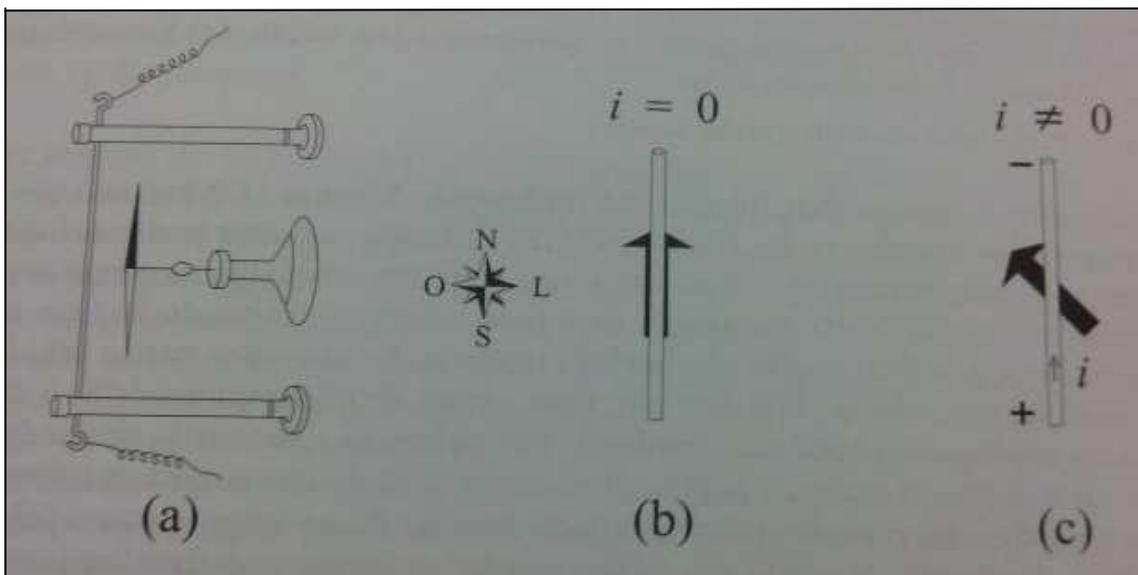


Figura 1: Representação da experiência de Orsted com o fio sobre a agulha imantada. Em (a) e em (b), a agulha aponta ao longo do meridiano magnético, sendo que não há corrente no fio. A parte retilínea do fio e a agulha estão ao longo de direções horizontais paralelas, com os dois formando um plano vertical. Em (c) temos o desvio da agulha com seu polo Norte indo para Oeste, quando flui uma corrente no fio do Sul para o Norte. *Fonte:* ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

Esse fato chamou atenção dos cientistas da época, pois aparentemente há uma quebra de simetria, já que

“[...] Seria mais natural se o polo [...] da agulha fosse atraído ou repellido pelo fio, mantendo-se no mesmo plano vertical. Esse desvio do polo [...] da agulha para um dos lados do plano vertical não era algo esperado [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 26).

Como esse era um fenômeno muito intrigante e totalmente novo, muitos cientistas começaram a estudar mais sobre o assunto e buscar, por si próprios, explicações para esse acontecimento. A seguir, vamos analisar com mais detalhes, as explicações dadas pelo próprio Orsted, Ampère e Faraday.

1.3 O experimento de Orsted: Interpretação do próprio Orsted

Orsted explicou o fenômeno observado em seu experimento, defendendo “[...] a ideia de um fluxo de partículas ao redor de um fio com corrente, sendo que seria esse fluxo o responsável pela deflexão de uma agulha imantada colocada próxima ao fio [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 263). Em sua concepção, esse fluxo em torno do fio era explicado supondo que “[...]”

o “conflito elétrico” se manifesta sob a forma de dois turbilhões que circulam em torno do fio, em sentidos opostos [...]” (MARTINS, 1986, p. 101). Para ele, cada turbilhão atuava sobre um polo da agulha imantada. Como já foi citado anteriormente, para Orsted o conceito de conflito elétrico era devido ao efeito que se manifesta no condutor e no espaço que o cerca, além disso, esse termo vinha de sua concepção da natureza da corrente elétrica.

Segundo Orsted “[...] o efeito magnético de uma corrente elétrica não é paralelo à corrente [...]” (MARTINS, 1986, p. 101). Esse era o aspecto mais revolucionário de seu trabalho porque embora a corrente elétrica fosse pensada como um fenômeno longitudinal dentro do fio condutor, o efeito produzido por essa corrente apresentava um aspecto de rotação em torno desse fio.

Nas palavras de Orsted:

[...] O conflito elétrico apenas atua sobre as partículas magnéticas da matéria. Todos os corpos não-magnéticos parecem ser permeáveis ao conflito elétrico; mas os [corpos] magnéticos, ou suas partículas magnéticas, resistem à passagem desse conflito magnético, o que faz com que possam ser movidas pelo ímpeto das forças em luta.

As observações expostas mostram que o conflito elétrico não está confinado ao fio condutor, mas está amplamente disperso no espaço circunjacente a ele.

Também se pode concluir das observações que esse conflito age por rotações [gyros], pois parece que essa é a condição sem a qual não se pode compreender que a mesma parte do fio de conexão, colocado abaixo do polo magnético o leve para leste, e colocado acima dele o mova para oeste; pois tal é a natureza da rotação, que movimentos em partes opostas possuem direções opostas. Além disso, pareceria que um movimento de rotação, unido a um movimento progressivo dirigido segundo o comprimento do condutor, deveria formar uma linha conchoidal ou espiral ou seja, em hélice, mas isso, se não me engano, não contribui para a explicação dos fenômenos explicados até agora.

Todos os efeitos aqui expostos, relativamente ao polo norte, são facilmente compreendidos, supondo-se que a força ou matéria elétrica negativa percorre uma linha espiral dobrada para a direita, e empurra o polo norte, mas não age sobre o [polo] sul. Pode-se explicar de forma semelhante os efeitos sobre o polo sul, se atribuirmos à força ou matéria elétrica positiva um movimento contrário, e o poder de agir sobre o polo sul e não sobre o norte. Compreender-se-á melhor a concordância dessa lei com a natureza pela repetição das experiências do que através de uma longa explicação. A avaliação das experiências será muito facilitada, se for indicado o sentido das forças elétricas no fio de conexão por sinais pintados ou gravados.

Ao que foi dito adiciono apenas: Demonstrei em um livro publicado sete anos atrás, que o calor e a luz são constituídos pelo conflito elétrico. É válido concluir, das observações descritas, que em seus

efeitos ocorrem movimentos giratórios; acredito que isso contribuirá para esclarecer os fenômenos chamados de polarização da luz. Copenhagen, 21 de julho de 1820. (ORSTED (1820), Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética, 1986, p. 121-122).

Orsted a princípio não explicou os fenômenos ocorridos por meio da ação a distância pois a simetria do fenômeno dificultaria sua explicação usando essa concepção. Então ele utiliza a ideia de que o conflito elétrico ocorre também fora do condutor em forma de dois turbilhões cujas rotações são opostas, em torno do fio e cada turbilhão estaria associado a um tipo de eletricidade e cada uma delas agiria apenas sobre um dos tipos de polo.

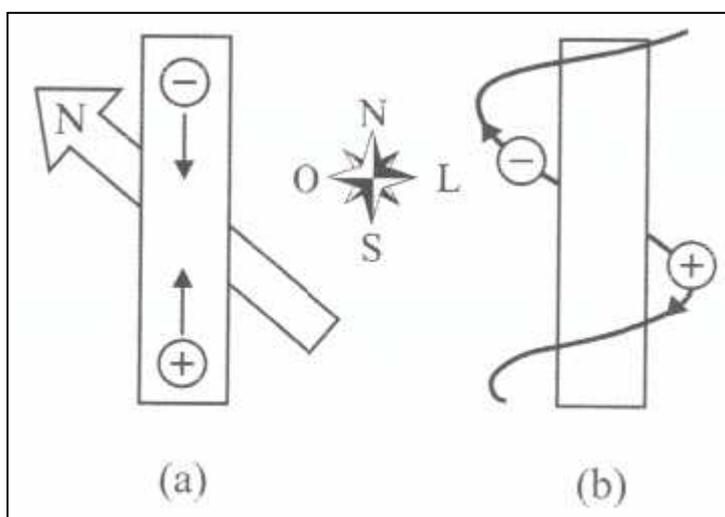


Figura 2: (a) experiência de Orsted; (b) sua interpretação dessa observação supondo cargas elétricas descrevendo trajetórias helicoidais ao redor do fio e empurrando os polos do ímã. As setas indicam os sentidos dos movimentos das supostas cargas positivas e negativas dentro e fora do fio. *Fonte:* ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

Segundo Orsted a matéria elétrica negativa só iria agir sobre o polo norte do ímã, empurrando-o. Enquanto que a positiva agiria somente no polo sul, empurrando-o também. Um fator que podemos destacar de sua primeira interpretação é que Orsted inicialmente atribuía o desvio da agulha apenas à ação do fio com corrente.

Outros pesquisadores estavam tentando formular suas próprias explicações para o fenômeno e Ampère em setembro de 1820, publicou um trabalho na Academia de Ciências mostrando que “[...] esse desvio era devido

às ações conjuntas do fio e da Terra sobre a agulha [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 210). E que, se fosse eliminada a ação magnética da Terra, a agulha passaria a se orientar ortogonalmente a um fio com corrente.

Após o trabalho de Ampère, Orsted mudou sua a interpretação de como ocorria essa interação, dizendo em um artigo de 1821, o seguinte:

[...] Apresentarei aqui, de forma bem mais detalhada do que fiz na minha primeira publicação, a regra pela qual penso serem governados todos os efeitos eletromagnéticos. É esta: Quando potências elétricas opostas encontram-se em circunstâncias que oferecem resistência, elas ficam sujeitas a uma nova forma de ação, e neste estado elas agem sobre a agulha magnética de tal forma que a eletricidade positiva repele o [polo] Sul [da agulha imantada], e atrai o polo Norte da bússola; e a eletricidade negativa repele o Norte, e atrai o Sul; mas a direção seguida pelas potências elétricas neste estado não é a de uma linha reta, mas uma linha espiral, girando da esquerda para a direita. (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 210).

Na primeira interpretação em 1820, Orsted tinha a ideia de que a matéria elétrica empurrava o polo do ímã. Em um texto de 1821 ele fala em “[...] atrações e repulsões entre as eletricidades positiva e negativa que estariam fluindo de forma helicoidal no exterior do fio e os polos do ímã [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 211). Isto mostra uma mudança na visão de como ocorre a interação, antes era devido a ação por contato, quando a ideia remetia à empurrões, agora trata-se de ação à distância, ocorrendo por atração ou repulsão. Em outra citação, Orsted remete novamente à atrações e repulsões:

[...] Dado tudo isto, o polo Norte de uma agulha magnética é repelido pela eletricidade negativa e atraído pela positiva. Naturalmente, o polo Sul da agulha magnética tem a mesma relação com a eletricidade positiva [...] (ORSTED (1821). In:ASSIS; CHAIB, 2011, p. 211).

Alguns anos depois, Orsted também passou a falar em círculos e não em espiras ou hélices ao redor do fio, como no início de sua hipótese. Essa ideia pode ser vista no seu artigo de 1830 sobre termoeletricidade, em que ele chamou de magnetismo austral o polo Norte da agulha imantada, ou seja, o polo que aponta aproximadamente para o Norte geográfico terrestre. Para Orsted, a direção do magnetismo austral era circular em torno do fio, em que ocorre a circulação magnética, em um plano perpendicular ao condutor (ASSIS; CHAIB, 2011).

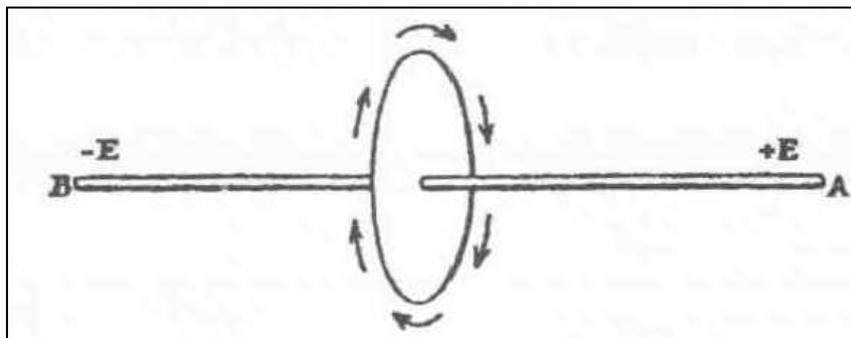


Figura 3: Esta é uma figura de Orsted representando a ação magnética da corrente elétrica. *Fonte:* ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

Uma concepção que sempre guiou os estudos de Orsted foi de

“[...] que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos. Ele não foi levado a isso pelas razões comumente alegadas a favor dessa opinião, mas por um princípio filosófico, o de que todos os fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original [...]” (MARTINS, 1986, p. 95).

Orsted havia sido inspirado pelas leituras sobre Kant e sobre a *Naturphilosophie*. As ideias de Kant eram de que

“[...] a força se manifesta na matéria basicamente de duas formas: como força de atração ao definir os limites de um corpo e como força de repulsão quando atribui ao corpo a propriedade de impenetrabilidade. Estas duas forças, Kant chamara de *Grundkräfte* (forças fundamentais) e outras forças, tais como eletricidade, magnetismo, calor e luz, ele sugeriu que fossem meramente modificações das forças básicas sob diferentes condições (GARDELLI, 2004, p. 54-53).

E essas ideias kantianas, sobre a transformação de um tipo de força em outra foram desenvolvidas pelos pensadores da escola filosófica alemã *Naturphilosophie*, dentre eles Frederick Wilhelm Joseph Schelling (175-1854) e Friedrich Schlegel (1772-1829), que acreditavam na unidade de todas as forças e procuravam estabelecer relações entre elas (GARDELLI, 2004). Essas ideias acabaram direcionando fortemente o trabalho de Orsted, pois ele “[...] acreditava que o universo era um todo orgânico, como um ser vivo, e dotado de uma alma viva, geradora das forças naturais [...]” (MARTINS, 1986, p. 95). Essa concepção fazia com que ele acreditasse “[...] profundamente na unicidade e na possibilidade de conversão das forças naturais [...]” (GARDELLI, 2004, p. 55).

A explicação dada por Orsted ao seu próprio experimento não convenceu a todos os cientistas. Muitos deles tentaram explicar o fenômeno de outras maneiras, como veremos a seguir.

1.4 André-Marie Ampère e sua interpretação para o experimento de Orsted

André-Marie Ampère nasceu em Lyon, na França, em 20 de janeiro de 1775. Posteriormente, foi morar em um pequeno vilarejo chamado Poleymieux, próximo à Lyon. Seu pai lhe proporcionou contato com uma vasta biblioteca durante toda sua infância e adolescência, Ampère não frequentou escolas e sempre foi autodidata (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 20). Na biblioteca de seu pai, leu tantos livros quanto quis, aprendendo também outras línguas. Ampère se interessava também por livros sobre matemática e outros assuntos.

Aos 17 anos, Ampère sofre vários conflitos emocionais, primeiro com a morte de sua irmã em 1792. Depois em 1793, seu pai é guilhotinado. Esses acontecimentos fazem com que Ampère entre em depressão profunda e passe um ano inativo em seus estudos (ASSIS; CHAIB, 2011). Aos 21 anos, conhece Julie Caron, com quem se casa três anos depois, em 1799.

Além do abalo emocional que sofreu após a morte de seu pai, Ampère também se viu com seus rendimentos diminuindo consideravelmente, tendo que trabalhar para se sustentar, principalmente quando em 1800 nasce seu filho. Graças à sua facilidade com matemática, começou a lecionar aulas particulares. Depois, em 1802, com o reconhecimento de seu trabalho como professor particular, foi aceito na Bourg École Centrale, na cidade de Ain, onde começou a lecionar Matemática, Química e Física (ASSIS; CHAIB, 2011).

Em 1803 sua esposa falece. Com esse novo abalo, Ampère decide-se mudar de Lyon e em 1804, assume o cargo de tutor na École Polytechnique em Paris, onde depois passa a ser professor. E em 1819, dada sua habilidade não só nas ciências exatas, torna-se professor de filosofia na Faculdade de Letras de Paris. Contudo, no período de 1820 a 1826, dedica-se aos estudos sobre eletrodinâmica e em 1824 torna-se professor de física no Collège de France (ASSIS; CHAIB, 2011).

A obra de Ampère é muito ampla e comporta vários tipos de conhecimento. Apesar de seu reconhecimento em trabalhos matemáticos, esses não eram de sua prioridade. Seu interesse maior estava na física, química e filosofia. Passou vários anos dedicando-se a pesquisas em química, chegando a publicar trabalhos na área. No período de 1820 a 1826 fez várias publicações sobre eletrodinâmica. Depois desse período, dedicou-se a escrever uma obra filosófica sobre a classificação das ciências. Ampère não tinha a filosofia como aspecto contemplativo, pois para ele a Matemática, Física, Química e Filosofia faziam parte do conhecimento humano como um todo. (ASSIS; CHAIB, 2011). Contudo, foi em seus estudos sobre a eletrodinâmica que ele se destacou. Segundo Williams:

Ao redor de 1820 Ampère tinha alcançado uma certa reputação como um matemático e como químico de certa forma heterodoxo. Se ele tivesse morrido antes de setembro deste ano, seria uma figura menor na história da ciência. Foi a descoberta do eletromagnetismo por Hans Christian Oersted na primavera de 1820 que abriu um novo mundo para Ampère e lhe deu oportunidade de mostrar toda a potência de seu método de descoberta (AMPÈRE, 1843. In: ASSIS; CHAIB, 2011, p.24).

Desde a demonstração feita por Arago diante da Academia de Paris, sobre o trabalho de Orsted, Ampère “[...] interpretou a experiência de Orsted e todos os fenômenos magnéticos já conhecidos em termos de uma interação entre elementos de corrente [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 26). Na semana seguinte à demonstração de Arago, Ampère apresentou um trabalho intitulado “Memória relativa aos novos fenômenos galvanoelétricos”, em que “[...] descreveu um aparelho que utilizava o efeito eletromagnético para a medida de corrente elétrica, atribuindo-lhe o nome de “galvanômetro” [...]” (MARTINS, 1986, p. 106). Depois ele apresentou outro trabalho, “Memória sobre os efeitos da pilha”, em que “[...] mostra a existência de uma interação entre duas correntes elétricas, que se atraem quando são paralelas e de mesmo sentido, e se repelem quando de sentidos opostos [...]” (MARTINS, 1986, p. 106).

Todo o trabalho de Ampère foi guiado pela ideia de que o fenômeno fundamental do que chamamos de eletromagnetismo era devido a uma ação entre correntes elétricas, ou seja, que os efeitos magnéticos eram apenas secundários e precisavam ser explicados por modelos adequados. Para isso, teve de supor a existência de correntes elétricas no interior da Terra e dos ímãs

usuais. Os efeitos magnéticos poderiam estar sendo gerados simplesmente por correntes elétricas fechadas.

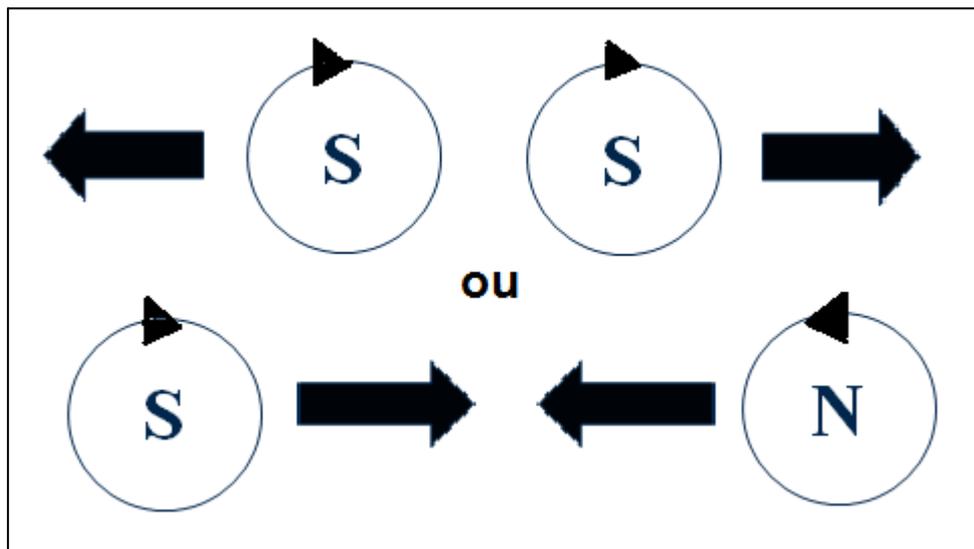


Figura 4: Ilustração de como seriam as correntes fechadas. *Fonte:* Própria.

Com essa hipótese, Ampère esperava explicar vários fenômenos já conhecidos, sobre a interação entre ímãs, além de explicar o fenômeno descoberto por Orsted, do torque exercido por um fio com corrente sobre a agulha imantada (ASSIS; CHAIB, 2011). Mas além disso, Ampère ainda conseguiu prever um fenômeno, que ele mesmo observou, de interação direta entre dois condutores com corrente. Para Ampère, tinha-se “[...] essencialmente interações diretas a distância atuando entre condutores com corrente. Estas forças eram centrais e satisfaziam ao princípio de ação e reação.” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 233).

Do ponto de vista da eletrodinâmica de Ampère, não há o problema da aparente quebra de simetria.

[...] o plano vertical que contém a agulha magnética e o fio condutor. [...] é um plano de simetria para o fio percorrido pela corrente elétrica; mas não o é em relação à agulha imantada, que é correspondente a um solenóide percorrido por uma corrente elétrica que circula em um sentido e não no outro. Na visão de Ampère, é exatamente esta a fonte da aparente quebra de simetria: havia uma rotação oculta (dentro da agulha imantada) que vai permitir explicar porque a bússola gira em um sentido e não para o outro. Se não houvesse essa rotação, não poderiam surgir efeitos perpendiculares ao plano. Note-se, aliás, que se vários condutores coplanares, de formas quaisquer, interagirem eletrodinamicamente, jamais surgirão efeitos físicos (forças) perpendiculares a esse plano comum, que é um plano de simetria. Esse resultado geral não é óbvio, se pensarmos que em

torno desses condutores existem campos magnéticos perpendiculares ao plano. (MARTINS, 1988, p. 52).

A explicação de Ampère não contrariava a Física newtoniana. Segundo ele,

[...] guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado por Orsted a forças que agem sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais são exercidas essas forças [...] (AMPÈRE, 1825. In: MARTINS, 1986, p. 106).

Ou seja, em seu modelo, Ampère transporta a rotação do campo magnético do fio condutor, para as correntes invisíveis dentro do ímã. Assim,

[...] Em vez de supor a existência real de polos magnéticos na agulha imantada, Ampère propôs que houvesse correntes microscópicas ao redor das partículas da agulha imantada. Essas correntes moleculares se cancelariam no interior do ímã, sobrando apenas uma corrente efetiva na superfície do ímã. O torque exercido pelo fio com corrente sobre a agulha imantada seria ocasionado por forças entre elementos de corrente [...] (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 237).

Para Ampère essa abordagem traria vantagens porque as forças entre as correntes elétricas seriam de simples atração e repulsão. Com isso não teria mais o problema da aparente quebra de simetria, pois o fenômeno de rotação que explicaria o sentido do deslocamento da bússola, iria ocorrer no próprio ímã.

No entanto,

[...] Na concepção moderna, não se aceitam a ação e a reação entre cargas, ou a ação e a reação entre elementos de corrente. Em vez disto, adota-se o ponto de vista de que cada carga em movimento gera um campo magnético. Esse campo se propaga através do espaço e, ao chegar na posição de uma segunda carga em movimento, ele exerce uma força sobre ela. Ampère não aceitaria a ideia de uma certa grandeza exercer uma ação sobre outra grandeza de natureza diferente da primeira [...]. (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 260).

Para ele, as interações deveriam ocorrer em elementos de mesma natureza e essa interação era por meio da ação a distância e não por contato, como aceitamos hoje em dia. Ampère também negou a existência de polos magnéticos. Sua explicação para os fenômenos voltaicos oferecia duas vantagens:

¹⁰ De não supor que estes condutores atuam sobre as partículas magnéticas das quais ninguém demonstra a existência, mas de considerá-los [os condutores] como exercendo suas ações sobre as disposições da eletricidade [existentes nos ímãs], de forma semelhante àquela [disposição] que se estabelece nos fios de latão quando são colocados em comunicação com as duas extremidades de uma pilha voltaica, e isto precisamente da mesma maneira que

eles agem sobre os fios onde ela [esta ação] existe nas experiências em que não há qualquer ímã.

2º De admitir apenas forças atrativas ou repulsivas entre dois pontos que estão ao longo da linha que liga estes dois pontos (AMPÈRE, 1820. In: ASSIS; CHAIB, 2011, p. 257).

Com isso, reforça que

[...] as interações fundamentais ocorrem apenas entre grandezas de mesma natureza (entre duas massas no caso da gravitação, entre duas cargas elétricas no caso da eletrostática, ou então entre dois elementos de corrente no caso da eletrodinâmica). [...] (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 259).

Suas críticas as explicações de Faraday e Orsted se basearam nessa concepção, já que ambos acreditavam que as interações poderiam ocorrer entre grandezas de naturezas diferentes. Podemos dizer que para Orsted as interações eram entre uma carga elétrica (que ele supunha fluir para fora do condutor) e um polo magnético. Para Faraday havia uma ação revolutiva que também ocorria entre grandezas de natureza diferente (como um fio com corrente e um ímã). Mesmo Faraday e Orsted acreditando nessa concepção de interação, nenhum deles foi capaz de explicar como essa interação de grandezas diferentes poderia acontecer.

Para justificar sua hipótese da interação entre dois fios com corrente, diz que

[...] o fato primitivo não pode ser aqui a ação entre um condutor voltaico e um ímã, já que, sendo essas duas coisas heterogêneas, a ação mútua entre elas é necessariamente mais complicada do que aquela [ação mútua] que ocorre entre dois ímãs, ou aquela [ação mútua] que descobri entre dois fios condutores; [...] (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 259).

E foi em busca de explicar esses efeitos, analisando o fator primitivo do qual poderia derivar todos os fenômenos, que ele considerou como não fundamental a interação entre um fio com corrente e uma agulha imantada, mas propôs a interação entre dois fios com corrente para basear sua teoria.

Buscando a comprovação de que os efeitos magnéticos podiam ser gerados apenas por correntes elétricas fechadas, realizou um experimento em colocou duas espiras achatadas em planos paralelos e verticais, mantendo seus centros à mesma altura. Enquanto uma corrente constante percorria as espiras, Ampère observou uma atração ou repulsão entre elas, que dependia dos sentidos das correntes nessas espiras. Com isso ele conseguiu reproduzir

a atração e repulsão que pode ser observada entre duas barras imantadas alinhadas utilizando apenas duas espiras paralelas e concêntricas. Com essa experiência pode-se observar que as correntes paralelas irão se atrair quando fluírem no mesmo sentido e se repelir quando fluírem em sentidos contrários (ASSIS; CHAIB, 2011). Abaixo uma imagem ilustrando a atração quando as correntes estão no mesmo sentido.

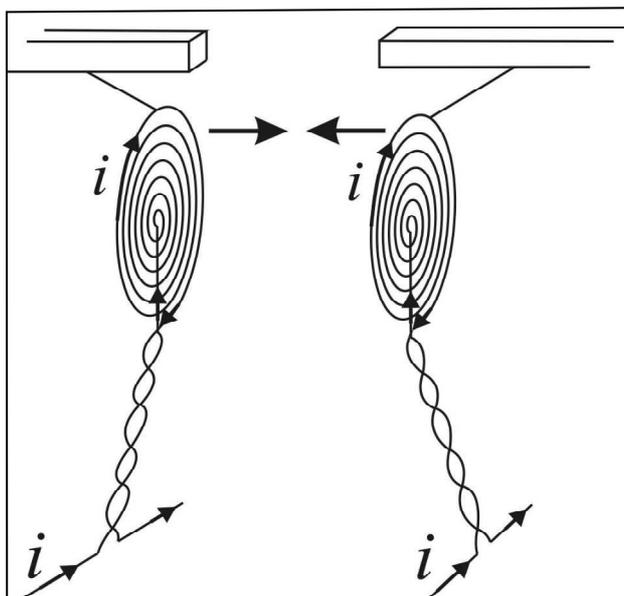


Figura 5: Atração entre duas espiras com corrente. *Fonte:* ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

É preciso notar que com a concepção de Ampère, do fenômeno de atração e repulsão entre condutores com corrente, ele criou dois nomes novos para diferenciar seus estudos dos de Orsted, designando-os como fenômenos *eletrostáticos* e *eletrodinâmicos*. Os fenômenos eletrostáticos incluíam as atrações e repulsões entre cargas elétricas em repouso relativo e os fenômenos eletrodinâmicos incluíam as atrações e repulsões entre os fios com corrente, sem que houvesse a necessidade de qualquer ímã na interação (ASSIS; CHAIB, 2011). Assim,

[...] devo utilizar a denominação de *eletrodinâmico*, para combinar em um único nome comum todos estes fenômenos e, especialmente, para designar os fenômenos que observei entre dois condutores voltaicos. Este nome expressa a propriedade característica destes fenômenos, a saber, de serem produzidos pela eletricidade em movimento; enquanto as atrações e repulsões conhecidas há muito tempo são fenômenos *eletrostáticos* produzidos pela distribuição desigual da eletricidade em

repouso sobre os corpos nos quais são observados estes fenômenos. (AMPÈRE, 1822. In: ASSIS; CHAIB, 2011, p. 28).

Mencionou ainda, que nas ações eletrodinâmicas não há necessidade da presença de qualquer ímã:

Depois que descobri a ação mútua entre dois condutores voltaicos, que é evidentemente da mesma natureza que aquela [ação] de um condutor sobre uma barra imantada, e que age sem a presença de qualquer ímã, o nome de *ação eletromagnética*, que utilizo aqui apenas para me conformar ao uso comum, não mais ficaria bem para designar este tipo de ação. Penso que ela deve ser [conhecida] sob o nome de *ação eletrodinâmica* (AMPÈRE, 1822. Publicado apenas em 1823. In: ASSIS; CHAIB, 2011, p. 28).

Mesmo resolvendo o problema da aparente quebra de simetria que tanto alarmou os pesquisadores da época, sua explicação para esses fenômenos não se difundiu. Muitos estudiosos concordavam com sua visão e até ampliaram sua teoria. Mas isso não foi suficiente para essa teoria ser estudada e abordada nos dias atuais. O conceito de campo magnético e as interações por contato tornaram-se as explicações mais aceitas para o fenômeno.

1.5 Michael Faraday e sua interpretação para o experimento de Orsted

Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791, em Newington Butts, Surrey. Quando tinha cinco anos, sua família se mudou para Londres. A situação financeira de sua família era precária e sua formação básica foi apenas o necessário para aprender ler, escrever e um pouco de Matemática (DIAS; MARTINS, 2004).

Aos 13 anos teve oportunidade de aprimorar seus conhecimentos, quando começou a trabalhar em uma livraria, já que podia ler os livros que o interessavam. Em 1812, com a ajuda de um cliente da livraria assistiu uma conferência com o químico Humphry Davy, na *Royal Institution*. Mais tarde, Faraday enviou suas anotações das conferências para Davy e pediu-lhe um emprego, desde que fosse relacionado à Ciência. Aos 22 anos, tornou-se auxiliar de laboratório de Davy (DIAS; MARTINS, 2004).

Como ajudante de Davy, Faraday adquiriu grande habilidade matemática e o auxiliou em várias pesquisas na área da Química. Até 1820, Faraday não havia se dedicado em pesquisas na área da Física. Mas foi neste ano que

Orsted divulgou seu experimento e descoberta do eletromagnetismo, fato que chamou atenção de vários pesquisadores, inclusive de Davy que realizou vários experimentos tendo Faraday como seu assistente. Foi então que Faraday teve seus primeiros contatos com o eletromagnetismo. Motivado por isso, Faraday aos 29 anos começa uma série de estudos independentes sobre eletromagnetismo, mas sem deixar as pesquisas químicas de lado.

Entre os anos de 1821 e 1822, publicou um artigo em que apresentou um apanhado histórico do eletromagnetismo, que dividiu em três partes (ASSIS; CHAIB, 2011). Nesse artigo fez um resumo do trabalho de Orsted, suas considerações e hipóteses e também escreveu a contribuição dos pesquisadores posteriores a Orsted e os fenômenos descobertos por eles. Mas nesses primeiros artigos, Faraday não apresentou nenhuma contribuição original (DIAS; MARTINS, 2004).

Nas suas primeiras experiências, Faraday acreditava que um fio conduzindo corrente deveria atrair ou repelir polos magnéticos de uma agulha magnética, interpretação que a princípio não condizia com a descrita por Orsted. Colocando o fio condutor em uma posição vertical e aproximando uma agulha para verificar as posições de repulsão e atração, Faraday concluiu que esses polos não estavam na extremidade da agulha mas que para cada polo existiam duas posições de atração e duas de repulsão, permitindo assim, que a agulha tomasse sua posição original em relação ao fio (DIAS; MARTINS, 2004). Na descrição dos resultados, Faraday escreve que

Aproximando o fio, perpendicularmente, na direção de um pólo de uma agulha, este se desviará para um lado, segundo a atração ou repulsão dada na extremidade do pólo; mas, se o fio é continuamente aproximado do centro do movimento [o meio da agulha magnética], por um lado ou pelo outro da agulha, a tendência da agulha de mover-se na direção anterior diminui até anular-se, de forma que a agulha torna-se indiferente ao fio. Finalmente, o movimento se inverte e a agulha é fortemente forçada a passar pelo caminho oposto. (FARADAY, 1821, p.74. In: DIAS; MARTINS, 2004, p. 522).

Com esses experimentos, Faraday passou a acreditar que esses polos não estavam localizados na extremidade da agulha (ASSIS; CHAIB, 2011), mas a uma certa distância das extremidades, localizadas no eixo da agulha (DIAS; MARTINS, 2004). E mais, “[...] as forças exercidas pelo fio sobre o polo

não apontavam para o fio, mas sim ortogonalmente ao fio e à reta unido o polo ao fio [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 219).

Posteriormente, para ele, “[...] não eram forças atrativas ou repulsivas, mas sim forças revolativas [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 219). Assim, “[...] o pólo magnético da agulha tendia a girar em torno do fio condutor” (DIAS; MARTINS, 2004, p. 522). De certa forma, essa nova interpretação de Faraday era compatível com a interpretação de Orsted, que descrevia um movimento de rotação da agulha magnética.

Faraday acreditava que forças opostas, exercidas pelo ímã sobre o fio, também deveriam existir, mesmo que em suas experiências ainda não tivesse observado esse movimento do fio (ASSIS; CHAIB, 2011). Descrevendo suas experiências, que de certa forma, eram análogas à experiência original de Orsted, Faraday relata

Disto é evidente que o centro da porção ativa de cada perna da agulha [imantada], ou o polo verdadeiro, como pode ser chamado, não está na extremidade da agulha, mas pode ser geralmente representado por um ponto no eixo da agulha, a uma certa distância da extremidade. Também era evidente que este ponto tinha uma tendência a girar ao redor do fio [com corrente] e portanto, necessariamente, o fio [tinha uma tendência a girar] ao redor do ponto. E como os mesmos efeitos aconteciam na direção oposta com o outro polo, era evidente que cada polo tinha o poder de agir sobre o fio por ele mesmo, e não como qualquer parte da agulha, ou como estando conectado com o polo oposto [...]

Várias conclusões importantes seguem destes fatos; tais como não haver atração entre o fio e qualquer polo de um ímã; que o fio tem de girar ao redor de um polo magnético e um polo magnético [tem de girar] ao redor de um fio; [...]

Tentaram-se várias maneiras de produzir a revolução de um fio e de um polo um ao redor do outro, sendo [esta] a primeira coisa importante necessária para provar a natureza da força exercida mutuamente entre eles (FARADAY, 1821. In: ASSIS; CHAIB, 2011, p. 219).

Em setembro de 1821, Faraday teve sucesso nas experiências de “[...] rotação contínua da extremidade de um fio com corrente ao redor de um ímã fixo, ou da extremidade de um ímã ao redor de um fio fixo com corrente [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 129).

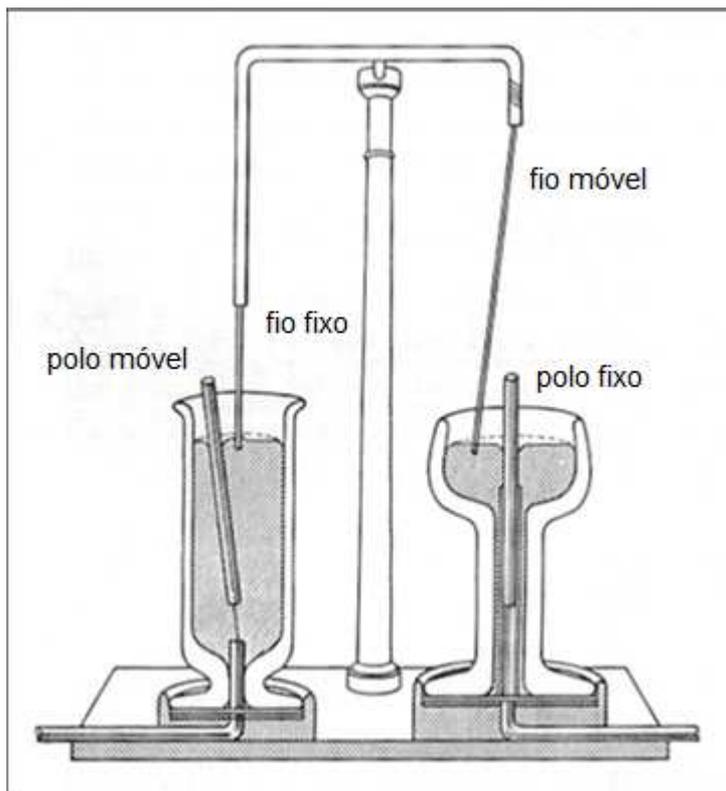


Figura 6: Aparelhos de Faraday demonstrando a rotação contínua de um fio com corrente ao redor de um ímã fixo, ou da extremidade de um ímã ao redor de um fio com corrente. *Fonte:* ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

Faraday enviou esse experimento para alguns pesquisadores, incluindo Ampère, que puderam testar a experiência. Foi observado que o sentido de rotação nesses instrumentos sofria alteração quando se invertia a polaridade do ímã, ou quando se invertia o sentido da corrente. Caso se invertessem simultaneamente a polaridade do ímã e o sentido da corrente, o sentido de rotação da parte móvel permaneceria o mesmo. (ASSIS; CHAIB, 2011).

Novamente, Faraday descreveu suas experiências “[...] em termos da existência de polos magnéticos e das forças atrativas e repulsivas entre esses polos e o fio com corrente [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 220). Segundo ele, essas forças obedeciam o princípio de ação e reação, mas ocorria na sua forma fraca, pois “[...] não estavam direcionadas ao longo da menor reta unindo cada polo a um longo fio retilíneo com corrente [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 220). Para Faraday, “[...] essas forças eram normais a esta reta e ao

fio, ou seja, eram forças que causavam o giro ou revolução mútua entre o suposto polo magnético e o fio [...]” (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 220).

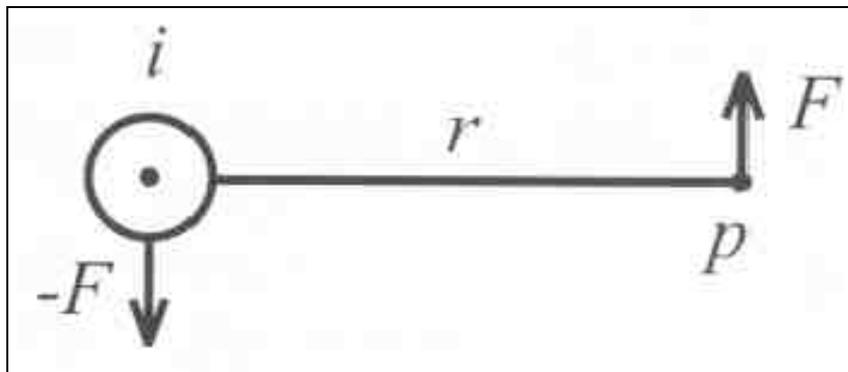


Figura 7: Um longo fio retilíneo normal ao plano do papel, com a corrente i saindo do papel. As setas indicam as forças exercidas entre um polo Norte p da agulha imantada e o fio com corrente, de acordo com as concepções de Faraday. *Fonte:* ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

Para Faraday a rotação do ímã em torno do seu próprio eixo era explicada devido a interação entre a corrente elétrica que passa por ele e os polos magnéticos do próprio ímã e não pela existência de correntes circulares no seu interior, como acreditava Ampère.

2. CONCEPÇÕES DE ENSINO E SEU DESENVOLVIMENTO: UM ENFOQUE NA ABORDAGEM DO ENSINO TRADICIONAL E CONSTRUTIVISTA

O estudo das diferentes pedagogias trouxe, ao longo do tempo, vários esclarecimentos sobre a organização da prática docente. Alguns estudiosos merecem destaque, entre eles João Amós Comênio (1592-1670) que escreveu a primeira obra clássica sobre Didática, a *Didacta Magna*. Comênio foi o primeiro a propor uma ideia de difusão dos conhecimentos a todos e também criou regras e princípios para o ensino, além de desenvolver propostas avançadas para a prática de educar nas escolas. Mesmo ainda estando no seu começo, o sistema de produção capitalista já influenciava a organização da vida social, política e cultural (LIBÂNEO, 1994).

Conforme foram ocorrendo mudanças no sistema de produção, o poder da nobreza e do clero foi diminuindo e o da burguesia aumentando, isso fez

com que crescesse também a necessidade de um ensino que fosse ligado às exigências desse novo mundo de produção, e também um ensino que deveria contemplar o livre desenvolvimento das capacidades e interesses individuais. Jean Jacques Rousseau (1712-1778) procurou “[...] interpretar essas aspirações, propondo uma concepção nova de ensino, baseada nas necessidades e interesses imediatos da criança” (LIBÂNEO, 1994, p. 58). Porém, Rousseau não colocou em prática suas ideias, isso coube ao pedagogo suíço, Henrique Pestalozzi (1746-1827) que dedicou sua vida para a educação de crianças pobres.

Pestalozzi deu grande importância ao método intuitivo, o que possibilitava aos alunos desenvolver um senso de observação, análise dos objetos e dos fenômenos da natureza e também a capacidade da linguagem. Atribuiu à psicologia da criança uma importância fundamental para o desenvolvimento do ensino.

As ideias desses estudiosos influenciaram vários outros pedagogos. Mas um deles precisa ser estudado, devido a sua presença constante nas salas de aulas brasileiras. Pedagogo alemão, Johann Friedrich Herbart (1766-1841) desenvolveu “[...] uma análise do processo psicológico-didático de aquisição de conhecimentos, sob a direção do professor [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 60). Para ele cabe ao professor introduzir ideias corretas na mente dos alunos e controlar os interesses dos alunos para construir uma massa de ideias na mente, que vão favorecer a assimilação de novas ideias. Seu método de ensino consiste em acumular ideias na mente da criança (LIBÂNEO, 1994).

As ideias desses pensadores, e de muitos outros, deram base ao pensamento pedagógico europeu, que difundiram-se por todo o mundo, demarcando várias pedagogias, entre elas a que conhecemos hoje como Pedagogia Tradicional.

A Pedagogia Tradicional caracteriza-se pelas concepções de educação

[...] onde prepondera a ação de agentes externos na formação do aluno, o primado do objeto de conhecimento, a transmissão do saber constituído na tradição e nas grandes verdades acumuladas pela humanidade e uma concepção de ensino como impressão de imagens propiciadas ora pela palavra do professor ora pela observação sensorial [...] (LIBÂNEO, 1994, p. 61).

No seu início, a escola tradicional seguia alguns passos que permanecem até hoje:

Como as iniciativas cabiam ao professor, o essencial era contar com um professor razoavelmente bem preparado. Assim, as escolas eram organizadas em forma de classes, cada uma contando com um professor que expunha as lições que os alunos seguiam atentamente e aplicava os exercícios que os alunos deveriam realizar disciplinadamente (SAVIANI, 1991. p.18. In: LEÃO, 1999, p. 189).

Nesta concepção de aprendizagem as aulas eram essencialmente expositivas e cabia ao professor repassar os conhecimentos que foram acumulados ao longo do tempo pela humanidade, exigindo dos seus alunos a reprodução literal dos conteúdos desenvolvidos. Para isso

[...] A teoria era apresentada aos estudantes sob a forma oral e/ou escrita, e as poucas atividades práticas/experimentais desenvolvidas nas disciplinas de Ciências eram demonstrativas, sem envolver diretamente a participação dos alunos. A qualidade das aulas era mensurada pela quantidade de conteúdos desenvolvidos, apresentando o questionário como um instrumento de avaliação da eficácia do trabalho realizado [...] (ROSA; ROSA, 2012, p. 13).

Ao se utilizar os pressupostos tradicionais do ensino, consideramos “[...] que a inteligência é uma faculdade que torna o homem capaz de armazenar informações, das mais simples às mais complexas [...]” (LEÃO, 1999, p. 190). Assim, na perspectiva tradicional o conhecimento humano é tratado como sendo de caráter cumulativo e que o ser humano precisa adquiri-lo pela transmissão dos conhecimentos, que deve ocorrer na escola. É fácil perceber que nessa perspectiva, o papel do indivíduo no processo de aprendizagem é meramente de passividade, pois

[...] atribui-se ao sujeito um papel irrelevante na elaboração e aquisição do conhecimento. Ao indivíduo que está “adquirindo” conhecimento compete memorizar definições, enunciados de leis, sínteses e resumos que lhe são oferecidos no processo de educação formal a partir de um esquema atomístico (MIZUKAMI, 1986. p.11. In: LEÃO, 1999, p. 190).

Na perspectiva tradicional o aluno é uma tábula rasa onde bastaria o professor transmitir seus conhecimentos para que o aluno aprendesse. Podemos relacionar com essa perspectiva duas concepções: uma em que o aluno aprende os conteúdos escolares porque é portador de uma inteligência inata e outra em que sua aprendizagem está diretamente relacionada à quantidade ou qualidade da experiência escolar em determinado conteúdo (LEÃO, 1999).

Assim, supõe-se que apenas ouvindo o professor e fazendo exercícios repetitivos os alunos sejam capazes de “aprender” a matéria para reproduzi-la depois, seja através dos questionamentos do professor ou em provas. Mas saber reproduzir conteúdos não pode ser considerado aprender esse conteúdo. A aprendizagem deve estar relacionada com a capacidade de aplicar esse conhecimento em situações novas. Portanto, na visão tradicional o aluno é apenas um recebedor das matérias e sua tarefa é apenas decorá-la. Com isso,

[...] Os objetivos, explícitos ou implícitos, referem-se à formação de um aluno ideal, desvinculado da sua realidade concreta. O professor tende a encaixar os alunos num modelo idealizado de homem que nada tem a ver com a vida presente e futura. A matéria de ensino é tratada isoladamente, isto é, desvinculada dos interesses dos alunos e dos problemas reais da sociedade e da vida [...] (LIBÂNEO, 1994, p. 64).

A ideia é que a atividade de ensinar deve ser centrada no professor e que este deve transmitir seus conhecimentos, sobrecarregar os alunos de conhecimentos que devem ser decorados sem questionamentos, fornecer exercícios para que os alunos memorizem os conteúdos por meio de repetição, além de poder impor a disciplina e usar de castigos (LIBÂNEO, 1994).

Para que os conteúdos pudessem ser transmitidos, eles deveriam ser previamente sintetizados e incorporados ao acervo cultural da humanidade e caberia ao professor dominar esses conteúdos para serem transmitidos aos alunos.

O que vemos atualmente é que os pressupostos tradicionais resistiram ao tempo e continuam prevalecendo no ensino, reafirmando um caráter meramente conteudista ao ensino, sem a preocupação de contextualização, tornando-se cada vez mais distante de uma aprendizagem significativa. E segundo Libâneo

[...] trata-se de uma prática escolar que empobrece até as boas intenções da Pedagogia Tradicional que pretendia, com seus métodos, a transmissão da cultura geral, isto é, das grandes descobertas da humanidade, e a formação do raciocínio, o treino da mente e da vontade [...] (LIBÂNEO, 1994, p. 65).

Sendo assim, ao longo dos anos é possível perceber que os conhecimentos foram ficando estereotipados e insossos, sem um valor educativo, ficando desprovidos de significados sociais e de certa maneira, inúteis para uma formação intelectual. Além não favorecer aos alunos uma

compreensão crítica da realidade e do contexto em que vivem. Assim “[...] o intento de formação mental, de desenvolvimento do raciocínio, ficou reduzido a práticas de memorização” (LIBÂNEO, 1994, p. 65).

As ideias tradicionais trazem também, para os professores, uma visão geral de “[...] que basta conhecer um pouco o conteúdo e ter jogo de cintura para mantermos os alunos nos olhando e supondo que enquanto prestam atenção eles estejam aprendendo [...]” (CARVALHO, 2004, p. 1). Porém, é preciso muito mais que isso para garantir uma aprendizagem por partes dos alunos. É preciso pensar as metodologias utilizadas em sala e entender que o ensino é muito mais do que apenas trabalhar com conceitos e ideias científicas:

[...] a escola precisa também ensinar os alunos a perceber os fenômenos da natureza e a examiná-los na busca por explicações, tornando-os capazes de construir suas próprias hipóteses, elaborar suas próprias idéias, organizando-as de modo a construir conhecimento (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 107).

Analisando sob essa perspectiva, é fácil notar que o ensino tradicional tem sido falho, pois

[...] a escola tem sido criticada pela baixa qualidade de seu ensino, por sua incapacidade em preparar os estudantes para ingressar no mercado de trabalho ou na universidade, por não cumprir adequadamente seu papel de formação das crianças e adolescentes, e pelo fato de que o conhecimento que os estudantes exibem ao deixar a escola é fragmentado e de aplicação limitada [...] (BORGES, 2002, p. 292-293).

Com isso, os alunos não conseguem relacionar os conhecimentos adquiridos em sala com sua vida cotidiana e conseqüentemente não conseguem atuar consciente e racionalmente fora do contexto escolar. A aprendizagem ficou limitada a ocorrer de maneira receptiva e automática, sendo assim, o aluno não precisa ser instigado a pensar e refletir sobre o que lhe é ensinado. É importante ressaltar que

[...] não se aprende a aprender ouvindo, escrevendo, memorizando e reproduzindo conhecimentos em provas, é preciso algo mais dinâmico, que ative os alunos, não apenas fisicamente, mas acima de tudo, intelectualmente. É necessário que ele, o aprendiz, ponha em funcionamento toda a sua estrutura cognitiva durante o ato de aprender, e consiga ir além dela, refletindo e retomando cada ação efetivada em busca do conhecimento (ROSA; ROSA, 2012, p. 12).

Assim, precisamos superar o modo como se é abordado Física nas escolas, onde o ensino é “[...] recheado por conceitos, leis e fórmulas tratados de forma desarticulada em relação ao mundo vivido pelo aluno e pelo

professor, com insistência na automatização em resolução de exercícios e na memorização [...]” (ROSA; ROSA, 2012, p. 11).

O modo como se ensina Física atualmente faz com que os alunos tenham uma aversão a essa disciplina, que é evidenciada pela evasão dos alunos e professores das salas de aula e também pelos índices elevados de analfabetismo científico.

Com isso, ensinar Física têm se tornado um grande desafio para aqueles professores que realmente se preocupam com a aprendizagem de seus alunos e que não querem simplesmente que eles memorizem fórmulas e saibam resolver problemas padronizados, que na maioria das vezes, não possuem vínculo com a realidade (GARDELLI, 2004).

O ensino de Física nas escolas tornou-se algo meramente matemático, descrito por fórmulas e macetes, em que o aluno não precisa aprender como resolver o exercício, basta memorizar o algoritmo necessário para resolvê-lo. Contudo, existem diferentes pedagogias que podem ser utilizadas em sala para confrontar essa concepção de que a Física está vinculada apenas à memorização de fórmulas e que buscam tornar o aluno ativo em seu processo de ensino-aprendizagem.

Um grande diferencial entre essas pedagogias está na consideração ou não, de que o aluno é um indivíduo com sua história de vida e uma realidade própria, ambas fruto de sua interação social (FILHO, 2000). Quando desconsideramos esse fato, estamos optando pelo tradicional, reprodutivista e conservador modelo de transmissão e recepção de informações, em que o aluno é considerado uma tábula rasa. No entanto, se considerarmos esses conhecimentos prévios que são adquiridos pelo senso comum e pela sua vivência fora de sala de aula, estamos optando por uma concepção de educação que considera o aluno como construtor do conhecimento e que esse conhecimento é fruto de sua interação com o meio. Portanto “[...] o aluno é um construtor ativo de seu próprio conhecimento, tanto no sentido da evolução de uma estrutura mental, quanto de revolução e ruptura de uma forma de pensamento [...]” (ROSA; ROSA, 2012, p. 15).

Essa última opção epistemológica recebeu uma forte adesão por boa parte dos educadores, nos últimos anos. Quando passamos a considerar o senso comum e todo o conhecimento vulgar ou espontâneo que o aluno pode trazer de suas experiências do cotidiano, para sala de aula, precisamos adotar uma nova opção epistemológica e de ensino, o construtivismo (FILHO, 2000), que está pautado no pressuposto de que

[...] nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais [...] (BECKER, 1993, p. 88).

Buscando essa relação com questões sociais é importante ressaltar que devemos possibilitar aos estudantes conhecimentos que os preparem para a vida em sociedade, precisamos torná-los aptos para saberem tomar suas próprias decisões. Para isso, é muito importante o papel do professor como mediador de conhecimento. Além disso o professor também

[...] precisa *saber fazer* com que seus alunos aprendam a argumentar, isto é, que eles sejam capazes de reconhecer às afirmações contraditórias, as evidências que dão ou não suporte às afirmações, além da capacidade de integração dos méritos de uma afirmação. Eles precisam *saber criar* um ambiente propício para que os alunos passem a refletir sobre seus pensamentos, aprendendo a reformulá-los por meio da contribuição dos colegas, mediando conflitos pelo diálogo e tomando decisões coletivas (CARVALHO, 2004, p. 9).

Ou seja, o papel do professor não é mais de mera transmissão e ao contrário do que muitos pensam, na perspectiva construtivista, o professor é sim, parte fundamental do processo. Seu papel em sala de aula torna-se primordial, pois

[...] É o professor que propõe problemas a serem resolvidos, que irão gerar idéias que, sendo discutidas, permitirão a ampliação dos conhecimentos prévios; promove oportunidades para a reflexão, indo além das atividades puramente práticas; estabelece métodos de trabalho colaborativo e um ambiente na sala de aula em que todas as idéias são respeitadas. (CARVALHO et al, 1998. In: AZEVEDO, 2004, p.25).

Além disso, é ele quem deve propiciar a interação entre os próprios alunos e também entre ele e os alunos, pensando suas aulas de modo a elaborar situações problemas que permitam

[...] o surgimento de momentos de conflito para o alfabetizando e, conseqüentemente, o avanço cognitivo; estará considerando o aprendiz como um ser ativo, aquele que não espera passivamente que alguém venha lhe ensinar alguma coisa para começar a

aprender, uma vez que por si só compara, ordena, classifica, reformula e elabora hipóteses, reorganizando sua ação em direção à construção do conhecimento (ELIAS, 1992, p. 50. In: LEÃO, 1999, p. 201).

Numa proposta construtivista, o professor precisa levar em conta alguns fatores fundamentais,

Primeiro: é importante para o professor tomar consciência do que faz ou pensa a respeito de sua prática pedagógica. Segundo, ter uma visão crítica das atividades e procedimentos na sala de aula e dos valores culturais de sua função docente. Terceiro, adotar uma postura de pesquisador e não apenas de transmissor. Quarto, ter um melhor conhecimento dos conteúdos escolares e das características de aprendizagem de seus alunos (MACEDO, 1994. p.59. In: LEÃO, 1999, p. 201).

Um professor que adote a concepção construtivista deve ser reflexivo e crítico sobre seus atos em sala de aula, sobre o modo como está trabalhando e sobre como pode melhorar essa abordagem para propiciar aos alunos uma aprendizagem mais significativa. Além disso, deve estar sempre pesquisando novas formas de abordagem em sala e também sobre os conhecimentos que pretende ensinar. O professor não pode se acomodar nem quanto ao conteúdo a ser ensinado e nem em suas estratégias em sala.

Sendo assim, o professor precisa aceitar que não é mais o centro do ensino e aprendizagem e favorecer trabalhos em grupos para que o aluno possa aprender com essa interação, além de criar situações problemas que provoquem o raciocínio dos alunos. Preocupados com a verdadeira aprendizagem dos alunos. É válido ressaltar

[...] a importância da interação entre os grupos como uma etapa fundamental do trabalho dos alunos, na medida em que a limitação das hipóteses e dos resultados obtidos por um único grupo e a necessidade de confrontação com outros grupos constitui-se em um aspecto marcante da pesquisa científica [...] (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 84-85).

E também destacar que “[...] não se trata simplesmente de fazer do “método científico” o objetivo único do ensino, mas de exigir a participação ativa dos alunos na construção dos conhecimentos [...]” (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 85).

Contudo, o professor também deve entender que não existe uma única metodologia adequada e que sua função é verificar qual delas melhor se encaixa no seu plano de trabalho e possibilitam o melhor aprendizado dos

alunos. Assim como não existe uma única ferramenta para auxiliá-lo nesse processo, sendo possível utilizar diversas ferramentas como os laboratórios abertos, questões abertas, problemas abertos, laboratórios demonstrativos, história da ciência e até mesmo aulas expositivas. Portanto,

[...] as aulas expositivas *podem* ser modos maravilhosamente eficientes para transmitir novas informações para a aprendizagem, para estimular a imaginação e para aguçar as faculdades críticas dos estudantes; mas escolheríamos outros tipos de atividade para extrair as idéias preconcebidas e o nível de compreensão dos alunos, ou para ajudá-los a perceber o poder de utilizar estratégias metacognitivas para monitorar sua aprendizagem. As experiências práticas *podem* ser uma maneira eficiente de fundamentar o conhecimento emergente, mas sozinhas não evocam a compreensão conceitual subjacente que ajuda a generalização. Não existe nenhuma prática de ensino que seja universalmente melhor (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007, p. 41).

Portanto o professor deve ter um amplo conhecimento e utilizar o maior número de artifícios para ter êxito em seu papel de “[...] construir com os alunos essa passagem do saber cotidiano para o saber científico, por meio da investigação e do próprio questionamento acerca do fenômeno [...]” (AZEVEDO, 2004, p. 26).

Uma ferramenta muito importante que o professor pode fazer uso no ensino de Física é a abordagem de alguns episódios da História da Ciência em suas aulas, pois seu uso “[...] abre um leque de possibilidades e estratégias de ensino para construir uma concepção de mundo integradora, trazendo algumas características da ciência que não são abordadas no ensino tradicional” (SILVA; TEIXEIRA, 2009, p. 3). Além de “[...] enriquecer o ensino de Física e tornar mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana” (BRASIL, 2006, p. 64). Além disso, utilizando a História da Ciência é possível analisar os casos de controvérsias e divergências entre as explicações dos fenômenos de cada época. Ao abordar as controvérsias com os alunos, eles podem compreender melhor a construção de determinada teoria e argumentar sobre essas divergências.

3. HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Neste capítulo falaremos sobre a História da Ciência no ensino de Física, sobre seus benefícios e sobre a dificuldade em ser utilizada em sala de aula.

3.1 A importância da utilização em sala de aula

Muitos pesquisadores apontam a História da Ciência como uma ferramenta de grande potencial, quando abordada em sala de aula, para propiciar uma construção mais apropriada das Ciências (CARVALHO E SASSERON, 2010; MARTINS, 2006; GARDELLI, 2004; MATTHEWS, 1995; BARROS E CARVALHO, 1998; SILVA E TEIXEIRA, 2009; NEVES, 1998). Com ela é possível apresentar uma visão da natureza da pesquisa e do desenvolvimento científico que não costumamos encontrar apenas analisando os resultados científicos (MARTINS, 2006).

Seu estudo “[...] se torna importante para o planejamento do ensino, apresentando-se como uma forma de associar os conhecimentos científicos com os problemas que originaram sua construção [...]” (CARVALHO, 1992, p. 13) e também para “[...] contribuir para o esclarecimento conceitual de certos pontos básicos da Física [...]” (MARTINS, 1988, p. 49). Com a abordagem histórica os alunos podem compreender a construção e os meios que levaram a aceitação de determinada teoria, compreendendo os argumentos para que isso ocorresse.

Atualmente sabe-se da importância de se considerar os conhecimentos prévios que os alunos trazem para a sala, devido às suas experiências e ao senso comum, pois “[...] recentemente, tomou-se consciência de que o aprendizado das ciências é, as vezes, dificultado por concepções de “senso comum” que, de um modo geral, coincidem com as concepções abandonadas ao longo da história [...]” (MARTINS, 1990, p. 4). Sabe-se também que o professor precisa preparar atividades que possam fazer com que o aluno passe por conflitos cognitivos para então modificar essas concepções, possibilitando que o aluno tenha uma aprendizagem significativa.

O uso adequado da História da Ciência permite ao professor entender melhor essas concepções alternativas e buscar meios para que essa

aprendizagem ocorra. Afinal, quando o professor tem conhecimento da História da Ciência ele pode compreender melhor quais são as dificuldades dos alunos, pois entende que ao longo da história esse conceito também sofreu dificuldades para ser aceito pela sociedade. Compreende que quando propõe-se alguma atividade que possibilite o conflito cognitivo “[...] os raciocínios apresentados por eles, apesar de não serem iguais a de nenhum cientista, assemelham-se, numa visão geral, às idéias já registradas na História [...]” (CARVALHO, 1992, p. 13). Assim, “[...] o professor terá maior facilidade em compreender as dificuldades e resistências de seus alunos e poderá mais facilmente respeitar suas concepções e fazer uma transição destas para as doutrinas atuais [...]” (MARTINS, 1990, p. 4).

Segundo Martins,

[...] o estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade [...].

[...] também permite perceber o processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento, permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações – o que contribui para a formação de um espírito crítico e desmitificação do conhecimento científico, sem no entanto negar seu valor [...] (MARTINS, 2006, p. XXI e XXII).

Além disso, pode “[...] permitir o conhecimento das idéias, temas, problemas, argumentos, exemplos e aparelhos hoje esquecidos e que podem ser extremamente úteis na prática do ensino [...]” (MARTINS, 1990, p. 4) e conseqüentemente, propiciar aulas mais estimulantes aos alunos e que fugam da rotina dos livros didáticos, usando materiais que podem ser adequados aos estudantes e que possibilitem enriquecer a aula.

Ao abordar a História da Ciência em sala de aula é possível mostrar aos alunos a construção histórica da Ciência, minimizando a visão deformada que existe sobre a ciência, de que ela é algo sem a relação com a sociedade ou com a vida do aluno. Essa visão ocorre pois “[...] o conhecimento é apresentado como um produto acabado, fruto da genialidade de algumas mentes privilegiadas [...]” (GARDELLI, 2004, p. 1), diminuindo também a visão

errônea de que o conhecimento é inato e atinge apenas alguns escolhidos. Esta visão leva

[...] os alunos a concluírem que são incapazes de fazer ciência ou que nada mais existe a ser descoberto ou inventado. Isto contribui para a elevação dos índices de analfabetismo científico dos alunos, mesmo que frequentem normalmente as aulas de ciências, já que não conseguem se interessar pelo que estão estudando (GARDELLI, 2004, p. 1).

Além disso, proporciona aos alunos entenderem que o ensino de Física pode ir muito além de memorização de fórmulas e resultados prontos, o que pode favorecer para aumentar o interesse dos alunos em sala. Portanto,

[...] mais de que um recurso didático, a História da Ciência é fundamentalmente um ambiente interdisciplinar, capaz de fazer com que os alunos realmente compreendam o significado, a importância e o contexto no qual a ciência foi desenvolvida, não limitando o seu ensino somente a nomes, fórmulas e resolução de exercícios [...] (SILVA; TEIXEIRA, 2009, p. 2).

Porém, as aulas como são ministradas atualmente, não fazendo uso dos episódios da História da Ciência, dão ao aluno “[...] a falsa impressão de que a ciência é algo atemporal, que surge de forma mágica e que está à parte de outras atividades humanas [...]” (MARTINS, 2006, p. XXII), fazendo com que alguns alunos concebam

[...] a ciência como “a verdade”, “aquilo que foi provado” – algo imutável, eterno, descoberto por gênios que não podem errar. É uma visão falsa, já que a ciência muda ao longo do tempo, às vezes de um modo radical, sendo na verdade um conhecimento provisório, construído por seres humanos falíveis e que, por seu esforço comum (social), tendem a aperfeiçoar esse conhecimento, sem nunca possuir a garantia de poder chegar a algo definitivo [...] (MARTINS, 2006, p. XXIII).

Assim, o estudo da História da Ciência se torna “[...] insubstituível, na formação de uma concepção adequada sobre a natureza das ciências, suas limitações, suas relações com outros domínios [...]” (MARTINS, 2006, p. XXIV), facilitando para que os alunos compreendam a natureza da ciência, seus processos e discussões, favorecendo para mostrar que a ciência não está livre do contexto social da época, nem de sofrer influências de aspectos econômicos, culturais e religiosos. O que possibilita aos alunos conhecerem os sucessos e também os fracassos do esforço humano para compreender a natureza. Perceber que, mesmo aqueles grandes cientistas cometeram erros ou equívocos; entender a contribuição de vários cientistas, mesmo que seus

nomes não sejam geralmente citados em livros (MARTINS, 2006). Além, é claro, mostrar

[...] o processo gradual de formação de teorias, modelos, conceitos e do próprio método científico; a existência de teorias alternativas, de controvérsias, de revoluções que lançam por terra concepções que eram aceitas (por bons motivos) durante muito tempo; a permanência de dúvidas mesmo com relação a teorias bem corroboradas; a influência de concepções filosóficas, religiosas e o papel da tradição e de preconceitos injustificados no desenvolvimento das ciências; e muitos outros aspectos da dinâmica da ciência (MARTINS, 2006, p. XXIV).

Quando esse estudo não acontece, acabamos por favorecer ainda mais as visões equivocadas em sala de aula. Os alunos não têm oportunidades para discutir como esse conhecimento foi construído e por isso ficam com a visão de que a ciência é rígida e linear e não de que

[...] nosso conhecimento foi sendo formado lentamente, através de contribuições de muitas pessoas sobre as quais nem ouvimos falar e que tiveram importante papel na discussão e aprimoramento das idéias dos cientistas mais famosos, cujos nomes conhecemos (MARTINS, p. XXII, 2006).

E que apenas através de muitos debates e críticas é que as nossas ideias vão gradualmente sendo aperfeiçoadas, muitas vezes, transformando totalmente os conceitos inicialmente propostos.

3.2 Dificuldades na abordagem em sala de aula

Um fator que impede que o aluno conheça verdadeiramente a construção do conhecimento, é abordar a História da Ciência apenas de modo, pontual e simplista. Um exemplo de equívoco que ocorre frequentemente é a abordagem da História da Ciência como sendo um pouco de cronologia e um pouco de nomes (CASTRO, 2009). Contudo

[...] essa cronologia é pouco informativa e pouco útil. Serve, apenas, para que o estudante fique conhecendo os nomes de alguns cientistas famosos e tenha uma idéia sobre as épocas (e sobre as sequências) de determinadas descobertas; mas não facilita o ensino da própria ciência [...] (MARTINS, 1990, p. 4).

Ou usar uma história do tipo anedótica, em que são abordados casos reais ou inventados sobre os cientistas, servindo apenas para amenizar a aridez das aulas (CASTRO, 2009) e também para tenta manter a atenção dos alunos. Mas esse tipo de abordagem “[...] pode apresentar uma visão distorcida e mistificada da ciência e dos cientistas” (MARTINS, 1990, p. 4).

O uso que pode ser considerado o mais perverso deles é o que se faz como forma de persuasão e intimidação, fazendo apelo ao argumento da autoridade (CASTRO, 2009). Então,

[...] nesses casos, invoca-se a **autoridade** de um grande nome para reprimir dúvidas e impor doutrinas, invertendo assim a própria natureza do pensamento científico, que, longe de se apoiar em nomes de autoridades, procuram se basear em fatos e argumentos (MARTINS, 1990, p. 4).

Esse argumento de autoridade contribui para que o aluno se afaste dos conhecimentos científicos pois ele não se sente confortável em questionar o porquê dos acontecimentos que o professor descreve em sala. Já que quem elaborou a teoria é um grande nome da ciência, exaltado pelo professor, o aluno não considera aquela teoria questionável e nem imagina que podem existir outras teorias que confrontem a primeira. Muito menos, se sente confortável para levantar hipóteses diferentes das discorridas pois elas são baseadas em um grande cientista, o que favorece para barrar as dúvidas dos alunos.

Uma ideia que pode contribuir para uma visão distorcida é defender que todo conhecimento não passa de uma mera opinião e que todas elas são equivalentes e por isso, não há motivo para aceitar as concepções científicas. Mas essa é uma visão equivocada, pois

[...] embora nada garanta que os cientistas tomem decisões acertadas, suas escolhas não são totalmente cegas: há evidências a favor ou contra cada posição e é possível pesar cada lado e preferir um ao outro, com base nos conhecimentos de cada época. É também o estudo cuidadoso da história da ciência que pode mostrar-nos isso (MARTINS, 2006, p. XXIII).

Por isso é preciso muita atenção por parte dos professores, ao se abordar episódios históricos, para que na sua tentativa de transpor o conhecimento para o aluno, o professor não acabe distorcendo esses episódios ou simplificando demais.

Outro aspecto importante da História da Ciência, quando utilizada de modo adequado, é que ela pode contribuir para que os alunos entendam que a ciência não é apenas a aplicação de um “método científico” que permite chegar a uma verdade, permitindo aos alunos entenderem que “[...] as teorias científicas vão sendo construídas por tentativa e erro [...]” (MARTINS, 2006, p.

XXIII) e que “[...] podem chegar a se tornar bem estruturadas e fundamentadas, mas jamais podem ser provadas [...]” (MARTINS, 2006, p. XXIII).

Portanto não existem manuais ou receitas de bolo que possam ser seguidos para se fazer ciência, pois “[...] o processo científico é extremamente complexo, não é lógico e não segue nenhuma fórmula infalível [...]” (MARTINS, 2006, p. XXIII). Assim, “[...] o estudo histórico de como um cientista realmente desenvolveu sua pesquisa ensina mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia científica” (MARTINS, 2006, p. XXIII).

Há um consenso também em favor de uma abordagem contextualista, ou seja, uma educação em ciências que aborde diversos contextos como: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico (MATTHEWS, 1995). Essa preocupação com a contextualização aparece também nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), que remete a um ensino de física que possibilite ao estudante compreender que o conhecimento científico e tecnológico é o resultado de uma construção humana, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais (BRASIL, 2002). Portanto,

[...] Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas [...] (BRASIL, parte III, 2000, p. 22).

Contudo, essa contextualização deve ser entendida com cautela. Devemos nos preocupar em não abordar a História da Ciência de forma anacrônica, analisando o passado com olhos do presente (MARTINS, 2005), procurando “[...] no passado somente o que se aceita atualmente, ignorando completamente o contexto da época [...]” (MARTINS, 2005, p. 314). Portanto, deve-se considerar os conhecimentos que se tinha na época e o contexto histórico que aperfeiçoou esses conhecimentos. Assim, “[...] o ideal seria que o historiador da ciência procurasse se familiarizar com a atmosfera da época que

está estudando sem perder de vista o que veio depois [...]” (MARTINS, 2005, p. 314), evitando assim distorções nessa contextualização.

A preocupação com a contextualização e com uma abordagem histórica é antiga. No final do século passado Ernst Mach e vários outros estudiosos já estavam preocupados com o processo histórico (GARDELLI, 2004; MATTHEWS, 1995) e já defendiam que a História da Ciência era necessária também para a compreensão dos conceitos científicos (CASTRO, 2009). Para Mach, a compreensão é necessariamente histórica, afinal,

[...] A investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades (MACH, 1883/1960, p. 316. In: MATTHEWS, 1995, p. 169).

E mais, os conteúdos devem ser selecionados e abordados de modo a favorecer um real significado para o aluno, não basta que ele apenas decore fórmulas e resolva problemas, é preciso também que o aluno saiba argumentar, criticar e relacionar os conhecimentos adquiridos com sua realidade. Assim Mach defendia a ideia de ensinar-se menos para aprender mais, visando uma educação de qualidade e não apenas abarrotando o aluno de conteúdos sem significado. Assim, afirma ainda:

Creio que a quantidade de matéria necessária para uma educação de valor [...] é muito pequena [...] Não conheço nada mais deplorável do que as pobres criaturas que aprenderam além do que deviam [...] O que elas conseguiram foi uma teia de pensamentos frágeis demais para fornecer uma base sólida, porém complicados o bastante para gerar confusão (MACH, 1943, p. 366. In: MATTHEWS, 1995, p. 169).

Sendo assim, devemos nos preocupar mais em favorecer um entendimento maior dos conteúdos por parte dos alunos, afinal “[...] ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente **doutrinar** e não ensinar ciência” (MARTINS, 1990, p. 4). Os alunos precisam pensar sobre aquilo que está sendo ensinado e saber argumentar sobre o assunto.

É claro que a utilização de alguns episódios da História da Ciência não garantem a solução de todos os problemas em sala de aula, mas

[...] podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste

modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas [...] (MATTHEWS, 1995, p.165).

Também devemos entender que ao utilizar a História da Ciência, não deve-se esperar que os alunos sejam capazes de resolver as controvérsias existentes na ciência e nem que eles saibam exatamente quais os motivos que levaram uma ideia ser mais aceita que outra (MATTHEWS, 1995). Mas,

[...] Ao contrário, espera-se que eles considerem algumas das questões intelectuais que estão em jogo; espera-se que considerem o fato de que há perguntas a serem feitas e que comecem a refletir não somente sobre as respostas para essas perguntas, mas, sobretudo, sobre quais as respostas válidas e que tipos de evidências poderiam sustentar essas respostas (MATTHEWS, 1995, p. 168).

Os alunos podem entender os processos que levaram à elaboração e aceitação das teorias, dos impasses e discussões que estão presentes nesse processo. Evidentemente,

[...] os estudantes de ciências deveriam adquirir uma idéia sobre questões metodológicas, de como as teorias científicas são avaliadas e de como teorias rivais são consideradas, terem uma idéia da relação entre o papel do experimento, da matemática, da religião e do compromisso filosófico no desenvolvimento da ciência [...] (MATHEWS, 1994, p. 2-3. In: GARDELLI, 2004, p. 3).

Mas para que os alunos compreendam a natureza da ciência é preciso que os professores também a conheçam. Afinal,

[...] para que os fatores sociais, intelectuais, técnicos e pessoais que contribuíram para essas grandes realizações pudessem ser discutidos adequadamente com os alunos, os professores de ciência deveriam ter um certo conhecimento sobre a história e a natureza da disciplina que ensinam (MATHEWS, 1994, p. 2-3. In: GARDELLI, 2004, p. 3).

Ou seja, mesmo que a História da Ciência venha ganhando espaço no ensino e seja reconhecida sua importância, existem algumas barreiras que impedem que essa disciplina desempenhe efetivamente o papel que pode e deve ter no ensino (MARTINS, 2006).

Uma dessas barreiras, sem dúvida, é a carência em um número suficiente de professores com formação adequada tanto para pesquisar como para ensinar de forma correta a história das ciências (MARTINS, 2006).

[...] Seria excelente se existissem professores-pesquisadores de história das ciências, com ótima formação, em todas as universidades, ministrando disciplinas em todos os cursos de nível superior (não apenas as licenciaturas) propiciando, por efeito multiplicador, a difusão de uma visão adequada sobre a história das ciências. É importante enfatizar um ponto: estamos falando sobre professores-pesquisadores, ou seja, pessoas capazes de fazer pesquisa (em nível internacional) sobre história da ciência e não professores improvisados de história da ciência [...] (MARTINS, 2006, p. XXVII).

Porém, infelizmente, são poucos os brasileiros que buscam uma formação na área e ainda há poucas pós-graduações no Brasil dedicadas à história das ciências (MARTINS, 2006). Existe sim,

[...] um certo número de pessoas que dão aulas de história da ciência sem ter uma formação adequada e que, por isso, podem nem saber distinguir um bom livro de um péssimo livro de história da ciência – e que podem, por esse motivo, transmitir uma visão totalmente equivocada da história da ciência [...] (MARTINS, 2006, p. XXVII).

E mais, enquanto o problema da escassez de professores com boa formação não é resolvido, os professores improvisados *podem* prestar um grande desserviço a essa área (MARTINS, 2006), transmitindo uma visão distorcida da História da Ciência.

Com um estudo da História da Ciência por parte dos professores podemos afastar deles próprios suas concepções ingênuas, que os distanciam de uma visão real do que é a construção do conhecimento, como por exemplo a concepção empírico-indutivista e atórica, na qual podemos destacar o papel “neutro” tanto da observação como da experimentação, “[...] esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo” (GIL-PÉREZ *et al*, 2001, p. 129).

Podemos destacar outras concepções dos professores, por exemplo, a ideia que transmite uma visão rígida (algorítmica, exata, infalível, ...). Nela o método científico é apresentado como um conjunto de etapas e passos que devem ser seguidos mecanicamente, “[...] destacando o rigor do mesmo e o carácter exato dos resultados obtidos [...]” (GIL-PÉREZ *et al*, 2001, p. 130). A

impressão é que basta seguir os passos do método científico com precisão que será possível fazer ciência. Além de uma visão a-problemática e a-histórica (portanto, dogmática e fechada) (GIL-PÉREZ *et al*, 2001), que causa a transmissão de conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual sua evolução ou as dificuldades encontradas (GIL-PÉREZ *et al*, 2001). Dificulta-se assim, o entendimento dos problemas pelos alunos, pois devemos ter em mente que “[...] todo conhecimento é a resposta a uma pergunta [...]” (GIL-PÉREZ *et al*, 2001, p. 131), e não podemos ter como objetivo ensinar a resposta, deixando de lado qual a pergunta que lhe originou.

Entre outras visões equivocadas, podemos destacar ainda, a visão acumulativa de crescimento linear dos conhecimentos científicos, em que se tem uma interpretação simplista da evolução desse conhecimento ou também a visão individualista e elitista da ciência, em que aparece referência às obras de gênios isolados e ignorando assim o papel coletivo dessa construção (GIL-PÉREZ *et al*, 2001).

É possível notar que as mesmas concepções equivocadas sobre a natureza da ciência presenciada na visão dos alunos é encontrada também nos professores, o que causa a transmissão contínua dessas visões distorcidas. Por isso é de suma importância trabalhar, primeiramente, o uso adequado da História da Ciência com os professores, para que eles possam então, trabalhar de modo adequado com seus alunos.

Mas esse não é um problema isolado quando se refere ao uso da História da Ciência. Outro problema é a falta de material didático adequado para se usar no ensino, como textos sobre História da Ciência em português e em bom nível (MARTINS, 2006). O que deve ficar claro é que o problema não a quantidade de materiais disponíveis, mas sim a qualidade destes (MARTINS, 2006). Isso porque, “[...] assim como existem os professores improvisados de História da Ciência, que não têm formação adequada, há os escritores improvisados de história da ciência [...]” (MARTINS, 2006, p. XXVIII). Geralmente essas pessoas não possuem treino na área e se baseiam em obras que não são especializadas (livros escritos por outros autores improvisados) e vão juntando informações que obtiveram em jornais,

enciclopédias e na Internet, misturam tudo no computador, e por fim, servem ao leitor desavisado (MARTINS, 2006). Assim, “[...] as obras que resultam desse “esforço” transmitem não apenas informações históricas erradas, mas deturpam totalmente a própria natureza da ciência [...]” (MARTINS, 2006, p. XXVIII). Com isso,

[...] Em vez de ajudar a corrigir a visão popular equivocada a respeito de como se dá o desenvolvimento científico, esses livros e artigos contribuem para reforçar e perpetuar mitos daninhos a respeito dos “grandes gênios”, sobre as descobertas repentinas que ocorrem por acaso, e outros erros graves a respeito da natureza da ciência [...] (MARTINS, 2006, p. XXVIII).

E infelizmente esses “[...] equívocos se propagam através das revistas científicas populares, dos jornais, da televisão, da Internet, penetram nas salas de aula, são aprendidos e repetidos por outras pessoas [...]” (MARTINS, 2006, p. XXVIII). E mais, “[...] os autores de livros científicos didáticos, geralmente com a melhor das intenções, introduzem em suas obras uma série de informações sobre história da ciência – em geral, também, completamente errôneas” (MARTINS, 2006, p. XXVIII). Isso porque, em alguns casos, as pessoas que escrevem os livros didáticos, não são formadas na área. Isso causa um grande problema, pois um bom livro de história da ciência deve ser o resultado de um trabalho de pesquisa, que só quem tem o conhecimento da área pode fazer. E mais,

[...] um bom texto sobre história da ciência, para poder ser utilizado na educação, deve ser escrito em linguagem adequada e simples, procurando explicar tudo claramente, sem pedantismos acadêmicos mas sem tentar simplificar e transformar em “água com açúcar” a complexidade histórica real (MARTINS, 2006, p. XXVIII).

A falta de conhecimento e de pesquisa ao escrever livros e artigos sobre história da ciência causa outro problema: os equívocos a respeito da própria natureza da ciência e seu uso na educação (MARTINS, 2006). Pois da mesma forma que a História da Ciência é uma aliada se usada de forma adequada, pode se tornar um grande empecilho e afastar ainda mais os alunos se usada de forma simplista e pontual. Esses equívocos podem trazer problemas discutidos anteriormente, como a redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas; concepções errôneas sobre o método científico e o uso do argumento de autoridade (MARTINS, 2006).

Assim, não podemos achar que o uso da História da Ciência no ensino é algo simples, muito pelo contrário,

[...] Há muitas armadilhas, e exige-se o uso de conhecimento epistemológico e historiográfico especializado para evitar alguns erros que poderiam levar o professor a empregar erroneamente a história da ciência para transmitir uma idéia de ciência totalmente inadequada, como ocorre muitas vezes. É necessário, por isso, um trabalho de pesquisa para fundamentar um adequado uso da história da ciência no processo educacional (MARTINS, 2006, p. XXXI).

Por essa complexidade, é claro que a utilização da história da ciência em sala de aula sofreu várias críticas, fazendo com que alguns pesquisadores fossem contra sua utilização. Um desses críticos, foi Martin Klein (1972) que argumentava “[...] que a única história possível nos cursos de ciências era a pseudo-história [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173). Para ele, “[...] os professores de ciências (especialmente os de Física) selecionam e usam materiais históricos com outros propósitos pedagógicos e científicos [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173). Fazendo com que esses materiais históricos sejam utilizados de forma não histórica, ou até mesmo, anti-histórica (KLEIN, 1972. In: MATTHEWS, 1995). Sendo assim, “[...] é melhor não se usar história do que usar-se história de má qualidade” (MATTHEWS, 1995, p. 173).

Outro crítico, Whitaker (1979) preocupou-se, segundo Matthews em “[...] identificar qual a ficção histórica que prevalecia a fim de satisfazer-se não apenas aos fins pedagógicos, mas aos fins da ideologia científica ou à visão de ciência que tinha o autor [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173). Portanto, o que se ensina na verdade é uma quasi-história, uma história simplificada, com erros que podem ocorrer devido a omissões, ou ainda, onde a história pode ser vista como sendo toda a verdade, uma verdade pura (MATTHEWS, 1995, p. 174).

Para Whitaker essa

[...] quasi-história é o resultado de muitos e muitos livros cujos autores sentiram a necessidade de dar vida aos registros desses episódios usando um pouco de história, mas que, de fato, acabavam reescrevendo a história de tal forma que ela segue lado a lado com a Física (Whitaker 1979, p. 109. In: MATTHEWS, 1995, p. 174).

Realmente, esse assunto é muito complexo. Isso porque, “[...] a história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador; ela tem que ser

fabricada [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 174). Com isso, a história pode acabar sofrendo influência das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador (MATTHEWS, 1995). E ainda, “[...] num grau ainda maior, sofrem influência da teoria da ciência, ou da filosofia da ciência, em que o historiador acredita [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 174).

Essa visão sobre a abordagem histórica se assemelha com o que Lakatos (1978) chamava de reconstrução racional da história, em que “[...] a história é escrita para sustentar uma determinada versão de metodologia científica e onde as figuras históricas são retratadas à luz da metodologia ortodoxa atual” (MATTHEWS, 1995, p. 174).

Outro pensador que enfatizou seu ponto de visto, foi Thomas Kuhn argumentando que “[...] a exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173). E

[...] que a história da ciência é distorcida numa sala de aula para que os cientistas do passado sejam retratados como se trabalhassem o mesmo conjunto de problemas trabalhos pelos cientistas modernos, de modo a fazer com que o cientista em formação sintá-se parte integrante de uma tradição bem sucedida na busca da verdade [...] (KUHN, 1962/1994, p. 175-176. In: GARDELLI, 2002, p. 1).

E mais, que

[...] a ciência exposta nos livros didáticos deveria mostrar um todo harmonioso, onde os capítulos se encaixassem em ordem, sem apresentarem quaisquer contradições, dúvidas ou hesitações. (KUHN, 1962/1994, p. 207-208. In: GARDELLI, 2004, p. 1)

Já Stephen Brush suger “[...] que a história da ciência poderia ser uma influência negativa sobre os estudantes porque ela ceifa as certezas do dogma científico; certezas essas que são tão úteis para se manter o entusiasmo do principiante [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 177). Sendo assim, apenas um público mais maduro deveria ter acesso à história.

Contudo, mesmo com essas críticas, muitos autores ainda defendem o uso da história da ciência em sala (GARDELLI, 2004; MATTHEWS, 1995, MARTINS, 2006). Segundo Matthews, “[...] as acusações lançadas por Klein e Kuhn são sérias, mas seus pontos principais podem ser acomodados sem que seja necessário excluir a história dos cursos de ciências [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 177). Pois, o que vemos é que “[...] uma abordagem histórica e

filosófica da ciência poderia contribuir fortemente para um maior entendimento de sua dinâmica evolutiva e sua estrutura teórica [...]” (GARDELLI, 2004, p. 3). Mas para isso, é necessário que a ciência seja vista da mesma forma como foi elaborada, como um organismo vivo, feita por homens que como todos os outros cometem seus erros e acertos e que estão sujeitos à condição humana, “[...] com as suas forças e as suas fraquezas e subordinados às grandes necessidades do homem na sua luta pelo conhecimento e pela libertação” (GARDELLI, 2004, p. 1).

E não nos esqueçamos que “[...] a história é sempre reconstruída, assim como também é permanente reconstrução a visão que temos dela [...]” (CASTRO, 2009, p. 114). E que “[...] não há uma história, há versões. Cada versão carrega uma visão dos fatos, da realidade. Desta forma, cada versão da história revela não apenas uma postura historiográfica, mas também a concepção que se tem de ciência” (CASTRO, 2009, p. 114). E também que

[...] Nenhuma abordagem é completa, pois nenhuma pode conter toda a realidade. Nesse sentido, o estudo da História é revolucionário, não porque ele ensina que uma determinada concepção sobre História é correta, mas porque ele ensina que nenhuma é completa (MARTINS, 1993. In: CASTRO, 2009, p.114).

Segundo Castro,

Por isso, não podemos, por idealizarmos em demasia, por buscarmos uma abordagem perfeita, completa e, portanto, impossível, privar nossos cursos e nossos textos didáticos de Ciências da abordagem histórica que nos for possível fazer. [...] Precisamos reinventar a ousadia de fazer o que somos capazes, o que nos é possível [...] (CASTRO, 2009, p. 116).

Sabendo da importância dessa abordagem devemos realizar um trabalho que utilize a História da Ciência, visando uma melhora na aprendizagem dos alunos e também que eles sejam capazes de se tornar pessoas críticas e reflexivas no futuro, objetivando também dar “[...] oportunidade de desenvolver entre os estudantes visões e compreensões mais adequadas do que seja a atividade científica” (CARVALHO; SASSERON, 2010). Os professores devem estar atentos e procurar referências e textos históricos que permitam uma discussão e argumentação dos alunos em sala sobre o assunto. Para observar como a História da Ciência vem sendo abordada, em sua maioria, analisaremos como alguns livros didáticos abordam o experimento de Orsted.

4. O EXPERIMENTO DE ORSTED E OS LIVROS DIDÁTICOS

Os livros didáticos, em sua maioria, costumam abordar apenas uma pequena parte da história ou, muitas vezes, abordam de uma maneira muito simplificada que acaba distorcendo esses episódios. Tivemos uma melhoria significativa com a maior preocupação com a educação vinda com as discussões das Diretrizes Curriculares da Educação Básica, que incentiva uma aula mais dinâmica e preocupada com a aprendizagem dos alunos e com intuito de formar um cidadão que saiba discutir e argumentar. Outro aspecto que contribuiu para uma maior preocupação com as referências utilizadas pelos professores em suas aulas foi a criação do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Atualmente o PNLD diz que

Deve, ainda, incorporar um tratamento articulado desses elementos entre si e com outras áreas disciplinares, bem como com aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais, de modo a propiciar aprendizagens significativas necessárias aos alunos [...] (BRASIL, 2014, p.8).

Para observar a melhora ocorrida nos últimos anos e como alguns livros ainda abordam esse episódio, analisamos alguns livros mais antigos e outros que foram aprovados em alguma edição do PNLD. O primeiro livro analisado abordava o experimento de Orsted da seguinte maneira:

[...] Colocando uma agulha magnética próxima de um circuito formado por uma pilha, uma chave e um fio condutor, Oersted observou que **a corrente elétrica fazia a agulha sofrer uma deflexão** (desvio).

Além de sugerir que os fenômenos elétricos e magnéticos estão relacionados, a descoberta de Oersted levou à conclusão de que **a corrente elétrica cria um campo magnético no espaço que a circunda**. [...] (PARANÁ, 1995, p. 455).

Analisando este trecho é possível perceber duas simplificações: que Orsted foi o primeiro a sugerir a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Contudo, essa relação já havia sido sugerida antes de seu experimento e foi a busca por respostas para essa relação que estimulou a realização de experimentos buscando novas interações entre eletricidade e magnetismo. E também omite todas as discussões iniciadas com o experimento de Orsted para tentar explicar como ocorria essa relação, dando a impressão de que foi fácil chegar à abordagem que se tem hoje de um campo magnético ao redor do fio percorrido por corrente.

Analisando outro livro, encontramos o seguinte trecho:

Experimentalmente, em 1820, o físico dinamarquês Hans C. Oersted verificou que a passagem de uma corrente elétrica num fio cria ao seu redor um campo magnético.

Esse fato **pode ser observado facilmente** colocando-se uma bússola próxima a um fio condutor, por onde circula uma corrente elétrica. Nessas condições, a agulha da bússola muda para uma posição perpendicular ao fio condutor, deixando de orientar o sentido norte-sul (BONJORNO *et al*, 2001, p. 451 – grifos nossos).

Aqui percebemos uma simplificação que pode desestimular o estudante, pois relata que a existência de um campo magnético circundando o fio é facilmente observável. Na realidade isso pode afastar o aluno do estudo da Física, pois não é algo facilmente observável e demorou muitos anos até que os cientistas chegassem à elaboração dessa teoria e mesmo assim, muitos deles, não concordavam com essa explicação. Ao dizer isso, o aluno que não consegue “enxergar” esse campo ao redor do fio, achando que isso é uma verdade absoluta, sente-se incapaz de compreender e estudar esse conteúdo.

Outro livro analisado apresentava o seguinte trecho:

[...] o físico e químico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) **demonstrou que**, havendo corrente elétrica em um fio, **surge ao seu redor uma propriedade do espaço capaz de defletir a agulha de uma bússola**, competindo com o magnetismo terrestre: **trata-se de um campo magnético** que só perdura enquanto houver corrente. (KANTOR *et al*, 2010, p. 170 – grifos nossos).

Aqui também podemos perceber uma simplificação do episódio, mesmo sendo um dos livros aprovados pelo PNLD. Ainda assim, nessa abordagem histórica é como se ao realizar o experimento a ideia de um campo magnético tivesse sido facilmente proposta e aceita.

O outro livro analisado faz a seguinte abordagem:

[...] Em 1820, verificou que a posição da agulha de uma bússola podia ser alterada quando colocada próximo a um fio condutor, percorrido por uma corrente elétrica. [...] O movimento da agulha indicava a ação de uma força sobre ela, atuando na direção perpendicular ao fio, quando existia uma corrente elétrica. **A interpretação física desse fenômeno, que veremos a seguir, levou algum tempo para ser realizada satisfatoriamente pelos cientistas.** [...] Assim, **o movimento da agulha, observado por Oersted, está indicando a presença de um outro campo magnético** na região, além daquele criado pela Terra [...] (FILHO; TOSCANO, 2012, p. 113-114 – grifos nossos).

Este livro comenta que a interpretação do fenômeno demorou, mas não dá mais nenhuma indicação de como foram as discussões ou de como o conceito de campo magnético surgiu e ganhou espaço entre os cientistas.

Frequentemente os livros didáticos simplificam ou distorcem os acontecimentos históricos. Como na maioria dos casos eles são a única fonte de pesquisa tanto para o professor preparar sua aula como para o aluno realizar seus estudos em sala, os livros acabam propagando visões simplistas da construção de uma teoria. Assim, buscando um maior entendimento dos alunos tanto dos conceitos envolvidos no fenômeno como do processo de construção de uma teoria, sugerimos uma outra abordagem para o tema, em que o professor faça uso da História da Ciência para introduzir o conceito aos alunos.

5. UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM DO EXPERIMENTO DE ORSTED EM SALA DE AULA

Para isso, elaboramos uma sugestão de proposta de aula utilizando a controvérsia que poderia ser dividida em três momentos: Um primeiro momento em que os alunos tivessem contato com o experimento de Orsted e pudessem explicar com suas palavras o que observaram no experimento. Em um segundo momento o professor poderia categorizar as diferentes explicações que surgiram na sala e utilizá-las para mostrar que podem existir várias explicações para um mesmo acontecimento, dependendo das experiências pessoais e dos conhecimentos de cada um. E que isso também aconteceu com os cientistas da época, quando eles tentaram elaborar explicações para o experimento, discutindo com os alunos quais as diferentes explicações que foram propostas. E apenas em um terceiro momento o professor abordaria a teoria atualmente aceita para explicar as relações entre eletricidade e magnetismo, possibilitando que os alunos entendam que esse não é um dogma inquestionável que precisa ser aceito, mas que eles devem saber os prós e contras de cada teoria e argumentar sobre qual delas eles são favoráveis.

Para isso sugerimos que no primeiro momento da aula o professor utilize um vídeo que mostre o experimento de Orsted. Depois da apresentação do vídeo o professor deve questionar os alunos sobre o que eles acham que está

acontecendo e quais as causas do efeito que viram no vídeo. O objetivo deste primeiro momento é que o aluno veja como o experimento é feito, utilizando um fio com corrente e uma bússola e familiarize-se com ele e proponha hipóteses de explicações para o efeito observado.

Para o segundo momento da aula o professor pode separar essas hipóteses em categorias, que podem ser divididas entre as concepções filosóficas que aparecerem, e usar as diferentes explicações que surgiram na sala para começar a discutir com eles sobre o contexto científico da época, a repercussão que o experimento causou e falar das discussões que foram feitas para tentar chegar a uma explicação para a causa do fenômeno.

Nesse segundo momento deve-se fazer uma abordagem geral desse episódio histórico para possibilitar aos alunos a compreensão de como foi complexa e divergente as explicações propostas e como o contexto científico influenciou os argumentos de cada cientista, abordando também quais foram essas explicações e quais eram as críticas contra e a favor de cada uma delas. O objetivo proposto para esse momento é que o professor discuta com os alunos as diferentes explicações propostas por cada cientista, mostrando que essa divergência de opinião pode ocorrer em todo lugar, tanto na sala de aula como na comunidade científica.

Essas discussões devem culminar no terceiro momento da aula, em que o professor pode relatar as várias visões sobre o experimento que apareceram na história e mostrar como se desenvolveu a teoria mais aceita atualmente, sobre o campo magnético, mostrando aos alunos a complexidade da construção de uma nova teoria e todos os impasses existentes na sua elaboração, além de dar oportunidade para que eles conheçam as outras teorias existentes.

A discussão desse terceiro momento tem como objetivo favorecer um ambiente para que os alunos saibam discutir com qual teoria eles concordam e saibam argumentar o porquê da escolha, além de favorecer para que eles compreendam toda a dificuldade em chegar ao conceito de campo magnético e com isso, possam entender melhor esse conceito, percebendo como foi a sua

compreensão ao longo dos anos e todas as mudanças que ocorreram nas explicações até culminar na abordagem atual.

Essa discussão histórica pode favorecer também para mostrar aos alunos que a ciência não é verdade absoluta e que existem controvérsias sobre várias teorias e que nada impede que eles sejam a favor ou contra àquela que é mais aceita na atualidade, desde que saibam defender o seu ponto de vista.

Além disso, esse trabalho pode servir de alerta para os professores ao abordarem esse conteúdo de modo tão simplista, fazendo parecer que sempre na História da Ciência essa foi a explicação mais aceita. Isso porque as explicações dos alunos para o vídeo mostraram que o conceito de um campo magnético ao redor do fio não é tão evidente para eles. Portanto, quando este conceito é apenas informado aos alunos e tratado como uma verdade inquestionável, pode afastar os alunos da ciência ou fazê-los sentirem-se incapazes de compreendê-la, já que muitas vezes os alunos não são capazes de “enxergar” esse fenômeno que é tratado pelo professor como tão simples e como única teoria existente.

6. INDICAÇÕES DE CONCEPÇÕES SEMELHANTES

Para observar se as explicações dos alunos realmente divergiam em sala de aula, fizemos a apresentação de um vídeo representando o experimento de Orsted em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio de um colégio estadual. Os alunos que participaram da aula não precisaram se identificar, apenas tentar explicar com suas palavras o que estava acontecendo no vídeo e como eles explicariam esses acontecimentos observados. Foi destinado um tempo no final da apresentação do vídeo para que os alunos escrevessem suas ideias e depois recolhemos esse material para análise.

Para analisar as respostas dos alunos, utilizamo-nos da análise textual discursiva, realizando “[...] um processo que se inicia com uma unitarização em que os textos são separados em unidades de significado [...]”, depois seguimos com um processo chamado de categorização em que “[...] reúnem-se as unidades de significado semelhantes, podendo gerar vários níveis de categorias de análise [...]” (MORAES; GALIAZZI, 2006, p. 118). O intuito desta

categorização é analisar as respostas dos alunos com mais profundidade, comparando-as com as concepções dos cientistas sobre o tema, ou seja, a “[...] intenção é a compreensão, reconstruir conhecimentos existentes sobre os temas investigados [...]” (ANDRADE, 2011, p. 61 *Apud* MORAES e GALIAZZI, 2007, p.11).

A comparação das respostas dos alunos com as concepções dos cientistas é importante para mostrar as várias visões sobre o tema, tanto atualmente em sala de aula quanto pelos cientistas na elaboração da teoria ao longo dos anos e mostrar que as visões que os alunos têm hoje podem ser semelhantes às que os próprios cientistas tiveram ao tentar encontrar explicações para o fenômeno.

Para isso, as hipóteses dos alunos foram transcritas e separadas nas seguintes categorias:

1) **Elementos de mesma natureza e ação a distância**

“Tanto o ponteiro da bússola, tanto a pilha possuem polo positivo e negativo. Então quando a pilha é conectada ao polo positivo ela **atrai o polo negativo do ponteiro e quando a pilha é conectada ao polo negativo ela **atrai** o polo positivo do ponteiro. Por isso quando a pilha é invertida ela faz girar a parte branca, depois quando é invertida de novo faz girar a parte vermelha.”**

“Havia uma bússola, uma pilha e um fio que ligava os dois polos da pilha. A pilha possui polos negativo e positivo e estes dois estão ligados por um fio e quando era passado sob a bússola, o ponteiro girava conforme o lado em que a pilha era colocada, isto ocorre **porque o lado positivo atrai o lado negativo e vice-versa.**”

“Quando se coloca o fio na pilha o circuito fecha, lembrando que o fio está ligado a polos diferentes (negativo e positivo) e quando esse circuito fechado encosta na bússola, ou seja, **a bússola também tem polos negativos e positivos** e quando um “lado” do circuito fechado por exemplo o polo negativo ele encontrará o positivo do ponto que tem na bússola e assim o ponteiro gira junto, e quando ela vira o circuito fechado para o outro “lado” o outro lado do ponto da bússola irá **atrair**, exemplo circuito com polo positivo vai atrair o polo

negativo da bússula, sendo assim a corrente elétrica que passa lá vai fazer com que se mova para o mesmo sentido. Porém quando abrir o circuito o ponto da bússula não girará pois não há uma corrente elétrica.”

“A bússula sempre aponta para o norte no caso para o polo positivo, quando liga o fio na pilha formando um circuito fechado **também cria um campo eletromagnético que dependendo da posição da pilha faz um campo positivo ou negativo atraindo** o ponteiro da bússula para seu pólo contrário.”

“Quando ocorre junção do fio em ambos os polos (+ e -) a passagem de energia, e o ponteiro da bússula que indica o norte começa a seguir para todos os lados em que esse fio vai, **como se fosse um ímã.**”

“Ao colocar as duas pontas do fio, uma em cada lado da pilha (lado negativo e positivo) pelo circuito estar fechado, há passagem de energia de um lado para outro, **tendo assim um campo magnético como na bússula também há um campo eletromagnético**, ao aproximar o seu ponteiro do fio, **o fio repuxa a bússula, é como um ímã.**”

“Primeiro foi colocado um fio na pilha, nesse fio ocorreu corrente elétrica, circuito fechado, então quando se aproxima-se da bússula o ponteiro **tende-se a seguir esse fio por causa da corrente elétrica, como se fosse um ímã.**”

“**Acredito que dentro da bússula também há uma pilha** que sua energia elétrica puxa sempre a seta para o norte. Quando coloca-se uma pilha com o fio que se ligando a bateria e conduz corrente elétrica, **atrai** a ponta da bússula para o lado positivo da pilha. E quando a pilha é invertida a outra ponta da bússula vai de encontro com o lado positivo da pilha.”

“O fio de cobre com a passagem da corrente elétrica, **se torna um eletroímã e reage com a ponta imantada da bússula.**” (Grifos nossos).

“No experimento da pilha quando o fio está encostado na pilha uma ponta de cada lado, fecha o circuito e passa a corrente elétrica nesse meio, quando ele está em contato com a bússula os ponteiros se movem, quando a pilha está de um lado **ela puxa como um ímã** o ponteiro norte e quando inverte a polaridade (virando a pilha) afaste o ponteiro norte (vermelho) e atrai o sul (branco).”

“O vídeo mostra que quando os lados de um fio são postos nos lados de uma pilha, formando um circuito fechado, o ponteiro de uma bússola começa a se mexer acompanhando os movimentos do fio. Isso acontece **porque a corrente elétrica que passa no circuito fechado funciona como um ímã que puxa o ponteiro da bússola.**”

“ **A pilha tem polo positivo e negativo e o ponteiro da bússola também deve ter**, e quando ele põe a pilha para um lado por exemplo o lado positivo **atrai** o lado negativo e quando vira a pilha para o lado negativo atrai o positivo.”

“No vídeo há uma bússola, um fio e uma pilha. Quando o fio é colocado nas extremidades da pilha o ponteiro da bússola, que fica sempre apontando pro norte, se move seguindo os movimentos do fio. Há momentos em que vira o lado da pilha, e novamente o ponteiro se move. **Na pilha tem cargas positivas de um lado, e negativas do outro, e provavelmente na bússola também há.** Quando está o lado positivo da pilha, provavelmente **puxa** o lado negativo da bússola. E quando está o lado negativo da pilha, a eletricidade puxa o lado positivo da bússola.” (Grifos nossos).

Portanto, esta categoria é aquela em que a concepção é de que a ação entre os corpos ocorre a distância e entre elementos de mesma natureza assemelhando-se ao que Ampère sugeriu. Ampère após anos de estudo, considerou que esta ação era a distância e ocorria entre elementos de corrente. Além de alguns trechos que remetem à ideia de Ampère, esta categoria também traz alguns que parecem tratar de uma interação eletrostática, conceito que ainda não era conhecido na época das discussões sobre o experimento de Orsted.

2) Elementos de naturezas diferentes e ação a distância

“Com o circuito da pilha fechado fais com que **atrai** a ponta vermelha com a corrente elétrica, quando **os polos da pilha** são trocados fais com que **repelhe** a ponta vermelha, **por causa do ímã.**”

“Tem uma bússola e uma pilha, quando **o negativo da pilha** ao se aproximar da bússola **atraí** o ponteiro que indica a direção pois **puxa o imã**, já o positivo faz com que a ponteira vá para o oposto.”

“Com a ligação do polo negativo ao positivo, gera um campo eletromagnético, ou **corrente elétrica que faz com que algum tipo de imã, que possui na bússola se mexa**. Isso ocorre pois o imã e o campo eletromagnético, ou corrente elétrica é **atraído**, assim, movendo-se.”

“Quando o fio cortado toca os dois lados da pilha formando um circuito fechado, **a bússola** muda direção, conforme o fio e a pilha se movimentam. Quando o circuito se abre, ou seja, a pilha é retirada, o ponto da bússola deixa de **seguir o fio**, talvez porque já não haja uma passagem **de corrente elétrica**.”

“Quando o circuito está aberto a **bússola** está apontando para o norte, após o circuito ser fechado pelo lado direito o lado vermelho é **atraído pela corrente**, e após a inversão da pilha o outra ponta da bússola é “puxada”.”

“Quando o fio é ligado na pilha gera um **campo magnético onde atrai a bússola** para as polaridades, quando esta ligado ao lado positivo da pilha ele aponta para um polo, e quando esta ligado ao negativo, para outro.”

“**Ela se movimenta pois contém hmas, e isso atrai eletricidade**. Também o lado negativo atrai o positivo da bússola e vice-versa. “os opostos se atraem”.”

“ No experimento utilizando a bússola, um fio e uma pilha o que ocorre é que ao ligar o fio primeiro no polo positivo e depois no negativo, o circuito segue nesta mesma direção.

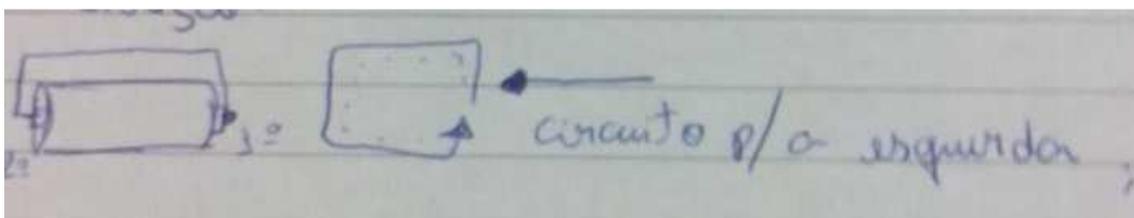


Figura 1 – Anexo: Desenho do aluno

Se virarmos a pilha verticalmente, a direção do circuito fica ou norte ou sul, dependendo de qual lado é fechado com o fio, e **a bússola segue a direção em que a corrente anda.**” (Grifos nossos).

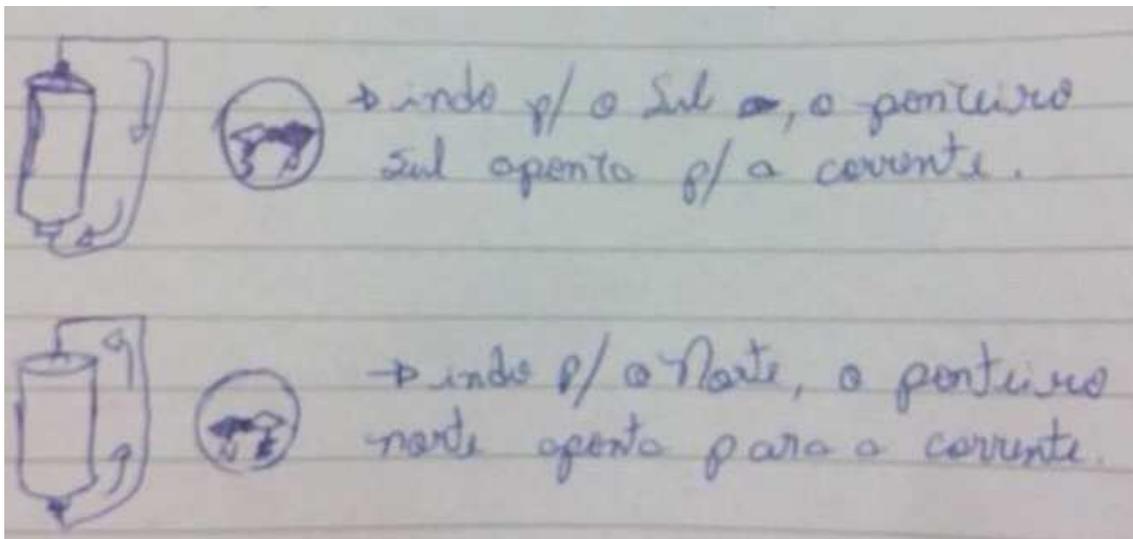


Figura 2 – Anexo: Desenho do aluno

Está categoria refere-se a uma concepção de que a ação é a distância mas ocorre entre elementos de naturezas diferentes, assemelha-se com o que vários cientistas propuseram, entre eles estavam Biot, Savart e Faraday.

3) Elementos de mesma natureza e ação por contato

“Esta pilha quando ligada ao fio de cobre cria **um campo eletromagnético que acaba movimentando a bússola**, quando se troca a polaridade a bússola se movimenta do lado contrário, isto ocorre porque a bússola é movida por magnetismo.” (Grifos nossos).

“O contato do fio com a pilha faz com que inicie uma corrente elétrica sobre o mesmo. Uma corrente elétrica ao passar por volta da **bússola “engana” o campo magnético dele** mudando sua direção.” (Grifos nossos).

Esta aparece concepções de que a ação ocorre por contato e entre elementos de mesma natureza, aparentemente não foi defendida por nenhum cientista da época.

4) Elementos de natureza diferentes e ação por contato

“Alguem pegou um fio, uma pilha, e uma bússula. Ligou o fio com a pilha e estava **forçando o ponteiro da bússula a se mecher**. A parte branca do ponteiro se mecheu com o lado + (*positivo*) da pilha e a parte vermelha do ponteiro com a parte – (*negativa*) da pilha.”

“Uma pilha, um fio e uma bússula, acredito que no momento em que o fio entra em contato com os dois polos da pilha **vira um campo elétrico onde transporta energia para a bússula que é movida por magnetismo**, em sentidos opostos pois **a pilha repele o imã** (magnetismo).” (Grifos nossos).

Esta é a categoria de concepção em que a ação ocorre por contato e entre elementos de naturezas diferentes, assemelha-se com as concepções de Orsted.

5) Apenas ação a distância

“Quando o circuito está fechado, e está transmitindo corrente elétrica, de alguma forma isso influencia o ponteiro da bússula. Quando a pilha é invertida o outro lado do ponteiro é atraído. **Há algo no ponteiro que é atraído pela corrente elétrica.**”

“Quando o circuito elétrico está fechado e **há passagem de uma corrente elétrica o ponteiro da bússula e atraído** e se move. Quando a pilha é trocada de lugar, e invertida o ponteiro branco é quem se move.”

“Quando o foi toca as extremidades da pilha, o ponteiro da bussula vai em direção do fio. **Acho que por causa da energia que esta puxando.**” (Grifos nossos).

6) Categoria envolvendo o termo energia

“ No experimento apresentado foi utilizado uma bussola, pilha e um fio de ferro. Onde o ferro é conectado os dois lados do fio nos lados positivo e negativo da pilha, que conectados ocorre uma liberação de energia em forma de circuitos fechado. A fonte de energia no caso é a pilha, o interruptor o fio e o aparelho no caso é a bussola. Quando precionado os fios na pilha o ponteiro vermelho

fica apontado para o fio, penso que ocorre uma liberação de energia mais forte.”

“Quando o circuito esta fechado a seta vermelha se atrai, pois a energia a puxa por ser mais pesado. Quando o circuito é fechado a parte branca é atraída pois é mais leve. Em outra parte do vídeo, mostra que quando a parte positiva atrai o vermelho e o negativo o branco.”

7) Sem categoria

“Creio que, na bússola há algum tipo de imã, no qual quando o ferro está em contato com a pilha e chega próximo a bússola faz com que o ponteiro da pilha se mova, e sempre ao lado positivo da pilha.”

A análise das explicações para o vídeo do experimento de Orsted nos mostra como podem ser divergentes as explicações dos alunos para o fenômeno, alertando-nos mais uma vez sobre a importância de se considerar os conhecimentos prévios dos alunos durante as aulas.

Analisando as categorias, encontramos semelhanças com as concepções que surgiram ao longo dos anos na busca por explicações sobre a relação dos fenômenos elétricos e magnéticos. Apenas um dos relatos parece não se encaixar em nenhuma das outras categorias. Alguns dos relatos utilizaram o conceito de energia, mas provavelmente não estão se referindo ao mesmo conceito de energia do qual era empregado na época (conceito de energia relacionado com força).

Apesar de os alunos não explicarem da mesma maneira como os cientistas propuseram, as concepções por trás das respostas são semelhantes às que foram defendidas por diferentes cientistas ao longo dos anos. Nossa intenção ao comparar as respostas dos alunos era exatamente essa. Não esperávamos que os alunos conseguissem dar respostas iguais às que surgiram na comunidade científica, mas mostrar que as concepções são semelhantes.

Com essa comparação, esperamos que os professores entendam a importância de se preocupar com o que os alunos pensam sobre o

experimento, sobre suas concepções alternativas e levar em conta que essa foi uma teoria com muitas discussões durante sua elaboração e que assim como os cientistas não propuseram de imediato o conceito de um campo ao redor do fio, também não será simples para o aluno entender esse conceito e por isso é tão importante a abordagem histórica e discussão das concepções com os alunos em sala de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo sobre a controvérsia existente na explicação do experimento de Orsted observamos alguns aspectos importantes para elaboração de uma proposta de ensino baseada no uso da História da Ciência.

Conhecendo as dificuldades envolvidas na aceitação do que foi observado no experimento, esta compreensão “[...] poderá servir como um instrumento para promover a aprendizagem deste conteúdo em sala de aula, proporcionando ao professor subsídios para alcançar um melhor entendimento das respostas dos seus alunos [...]” (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 93).

O estudo do contexto da época em que o experimento foi realizado também possibilita aos alunos entenderem como as concepções filosóficas de cada cientista influenciaram suas argumentações para explicação dos fenômenos, fazendo com que os alunos entendam que a evolução de uma teoria está intimamente ligada com o contexto científico do seu desenvolvimento.

A abordagem desse episódio em sala pode ajudar ainda a reduzir os equívocos que geralmente ocorrem ao estudar esse experimento de forma superficial como nos livros didáticos. Um deles é mostrar aos alunos que as observações feitas por Orsted da interação entre a eletricidade e o magnetismo não foram um mero acaso, mas sim que ele estava em ambiente que o impulsionou a buscar essa relação e que esta já era uma preocupação de muitos cientistas da época. Mostrar também a complexidade das explicações até culminar na que aceitamos atualmente para que o aluno reconheça e compreenda a natureza da ciência com todas as discussões que a rodeiam.

Além disso, conhecendo a História da Ciência, o professor pode fazer uso de alguns episódios históricos que possibilitem entender o processo gradual da evolução de uma teoria, transformando o estudo das ciências em algo mais interessante e próximo dos alunos, desmitificando a ideia de que a ciência é inatingível e feita apenas por grandes gênios.

O estudo da controvérsia permite mostrar ao aluno que a ciência não é uma verdade absoluta e sim uma construção social que sofre influência do contexto social da época, crenças ou interesses econômicos.

Contudo, devido à falta de formação adequada dos professores para trabalhar com a História da Ciência e muitas vezes pelo próprio comodismo, o que ocorre em sala de aula é uma distorção e simplificação da história ao se trabalhar com esses episódios, deixando de lado muitas contribuições históricas que determinado cientista teve, para abordar uma história pontual, que se resume em alguns nomes e datas. E por muitas vezes, distorcendo as contribuições desses cientistas, atribuindo a eles descobertas e pensamentos que não encontramos ao analisar as fontes originais. O que geralmente encontramos nos livros didáticos, que ainda é a principal fonte de pesquisa histórica dos professores do Ensino Médio, é uma distorção dos fatos. O que os livros didáticos trazem sobre Faraday, Ampère, Orsted e muitos outros, é bem menos do que eles realmente fizeram para a ciência.

Essa abordagem simplista causa uma propagação da visão errônea sobre ciência, como por exemplo a visão de que é possível obter uma teoria apenas pela observação experimental ou de que é possível “provar” uma teoria.

Compreendemos que a utilização da História da Ciência não é algo simples devido à falta de material adequado e também de professores com formação adequada, mas esperamos com este trabalho fornecer novos elementos para discussões sobre a inserção de episódios históricos nas aulas de Física.

Acreditamos que quando o professor faz uso da História da Ciência ele pode compreender melhor a natureza da ciência e possibilitar ao aluno o

entendimento da mesma, pode sentir-se mais seguro ao ouvir as respostas e indagações dos alunos sobre um determinado fenômeno, conduzir adequadamente as discussões em sala, tornando sua aula mais dinâmica e motivadora para os alunos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Edilaine. Cristina de. **Análise de uma proposta aplicada em sala de aula sobre geometria com foco na demonstração**. Londrina, 2011. Dissertação (Mestrado Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina.

Disponível em: http://www.uel.br/pos/mecem/arquivos/resumo_abstract/2011/dissertacoes/andrade_edelaine.pdf

Acesso em: 11/08/2014

ASSIS, André. Koch. Torres. Interações na Física – Ação a Distância versus Ação por Contato. In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. São Paulo: Livraria da Física, p. 87-102, 2006.

ASSIS, André. Koch. Torres.; CHAIB, João. Paulo. Martins. de Castro. **Eletrodinâmica de Ampère** – Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da UNICAMP, 2011.

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. Ensino por Investigação: Problematizando as atividades em sala. In: CARVALHO, A. M. P. de (org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 19-34, 2004.

BARROS, Marcelo. Alves.; CARVALHO, Anna. Maria. Pessoa de. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 83-94, 1998.

Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v5n1/a08v5n1.pdf> >

Acesso em: 04/03/2014

BECKER, Fernando. **O que é construtivismo?** Série Idéias, n. 20. São Paulo: FDE, p. 87-93, 1994.

Disponível em: <http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/ideias_20_p087-093_c.pdf>

Acesso em: 04/03/2014.

BONJORNO, Regina Azenha; BONJORNO, José Roberto; BONJORNO, Valter; RAMOS, Clinton Marcico. **Física Completa** – Volume Único. 2ª ed. São Paulo: FTD, 2001.

BORGES, Antônio. Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.

Disponível em: < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607/6099> >

Acesso em: 05/03/2014.

BRANSFORD, John. D.; BROWN, Ann. L.; COCKING, Rodney. R. (Orgs.). **Como as pessoas aprendem**: cérebro, mente, experiência e escola. Tradução: Carlos David Szlak. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

Disponível

em:

<

http://moodle.stoa.usp.br/file.php/422/como_as_pessoas_aprendem.pdf>

Acesso em: 06/03/2014.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Volume 2, Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Guia de livros didáticos PNLD 2015: Física**. Brasília: MEC, 2014.

CARVALHO, Anna. Maria. Pessoa de. **CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO E ENSINO DE CIÊNCIAS**. Brasília, ano 11, nº 55, jul./set. 1992.

CARVALHO, Anna. Maria. Pessoa de. *et al.* **Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione, 1998.

CARVALHO, Anna. Maria. Pessoa. de. Critérios estruturantes para o ensino das Ciências. In: CARVALHO, A. M. P. de (org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 1-17, 2004.

CARVALHO, Anna. Maria. Pessoa. de; SASSERON, Lúcia. Helena. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. In: CARVALHO, A. M. P. de (coord.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, p. 107-139, 2010.

CASTRO, Ruth. Schmitz de. Uma e outras histórias. In: CARVALHO, A. M. P. de (org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, p. 101-117, 2009.

DIAS, Valéria. Silva.; MARTINS, Roberto. de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004

ELIAS, M. C. As **Idéias construtivistas mudam os caminhos da prática da alfabetização**. São Paulo: Revista da Ande, v.11, n.18, p.49-56, 1992.

FILHO, Jose de. Pinho. Alves. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. 2000. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FILHO, Aurelio. Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física e Realidade: Ensino Médio**, 3. 1º ed. São Paulo: Scipione, 2012.

GARCIA, Tânia. Maria. F. Braga.; HIGA, Ivanilda; GARCIA, Nilson. Marcos. Dias. “Uma boa aula” na perspectiva de futuros professores de Física. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, São Luis, MA, 2007.

Disponível em: <
http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_umaboaulanaperspectivad.trabalho.pdf>.
Acesso em: 06/03/2014.

GARDELLI, Daniel. **Concepções de Interação Física: Subsídios para uma Abordagem Histórica do Assunto no Ensino Médio**. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

GIL-PÉREZ, Daniel.; MONTORO, Isabel. Fernández.; ALÍS, Jaime. Carrascosa.; CACHAPUZ, António.; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GUERRA, Andreia.; REIS, José. Claudio; BRAGA, Marco. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 21, n. 2, p. 224-248, ago. 2004.

KANTOR, Carlos. A; JUNIOR, Lilio. A. Paoliello; MENEZES, Luis. Carlos. de; BONETTI, Marcelo. De. C; JUNIOR, Osvaldo. Canato; ALVES, Viviane. M. **Física, 3º Ano: Ensino Médio** (Coleção Quanta Física) – Livro do professor. 1º ed. São Paulo:PD, 2010.

LEÃO, Denise. Maria. Maciel. Paradigmas contemporâneos de educação: escola tradicional e escola construtivista. **Cadernos de pesquisa**, n. 107, p. 187-206, jul. 1999.

Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cp/n107/n107a08.pdf>>
Acesso em: 05/03/2014.

LIBÂNEO, José. Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

MACEDO, Lino de. **Ensaio construtivistas**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1994.

MARTINS, Roberto. de Andrade. Orsted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, V.10, p. 89-114, 1986.
Disponível em :<<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/ups/pub/309.pdf>>. Acesso em 19/02/2014.

MARTINS, Roberto. de Andrade. Contribuição do Conhecimento Histórico ao Ensino do Eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, número especial, p. 49-57, jun. 1988.
Disponível em:
<http://www.fisica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/Homem_Lua/cont_conhec_hist_ensin_eletrom.pdf> . Acesso em 12/02/2014.

MARTINS, Roberto de. Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, V. 9, p. 3-5, 1990.
Disponível em: < <http://www.ghtc.usp.br/ram-r42.htm>>
Acesso em: 06/03/2014.

MARTINS, Lilian. Al-Chueyr. Pereira. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.
Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n2/10.pdf>>
Acesso em: 06/03/2014.

MARTINS, Roberto. de Andrade. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, p. XVII-XXX, 2006.

MATTHEWS, Michael. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade
Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084/6555>>
Acesso em: 04/03/2014

MAXWELL, James. Clerk. On action at a distance. In: NIVEN, W. D. (ed.). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, v. 2, p. 311-23. New York: Dover, 1965.

MIZUKAMI, Maria da. Graça. Nicoletti. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: EPU, 1986.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria. Do Carmo. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.
Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v12n1/08.pdf>>
Acesso: 11/08/2014

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. A História da Ciência no Ensino de Física. *Revista Ciência & Educação*, v. 5, n. 1, p. 73-81, 1998.
Disponível em: <<http://ufpa.br/ensinofts/artigo4/historiafisica.pdf>>
Acesso em: 19/11/2014.

ORSTED, Hans. Christian. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 10, p. 115-122, 1986. Tradução de Roberto de Andrade Martins.
Disponível em: http://www.academia.edu/1589495/Orsted_e_a_descoberta_do_eletromagnetismo._Experiencia_sobre_o_efeito_do_conflito_eletrico_sobre_a_agulha_magnetica._MARTINS_Roberto_de_Andrade>. Acesso em: 21/02/2014.

PARANÁ, Dijalma Nunes. **Física** – Volume único. 5ª ed. São Paulo: Ática, 1995.

ROSA, Cleci. Werner. da; ROSA, Alvaro. Becker. da. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **Revista Ibero-americana de Educação**, n. 58/2, p. 1-24, fev. 2012.
Disponível em: <<http://www.rieoei.org/deloslectores/4689Werner.pdf>>
Acesso em: 05/03/2014.

SAVIANI, Dermeval. **Escola e democracia**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 1991.

SILVA, Marcos. Correa. da; KRAPAS, Sonia. Controvérsia ação à distância/ação mediada: abordagens didáticas para o ensino das interações físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 471-479, 2007.
Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070302.pdf>>
Acesso em: 18/02/2014.

SILVA, Erman. Naum da.; TEIXEIRA, Ricardo. Roberto. Plaza. **A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NOS LIVROS DIDÁTICOS** - Um Estudo Crítico sobre o Ensino de Física pautado nos Livros Didáticos e o uso da História da Ciência. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, ES, 2009.
Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/>>
Acesso em: 06/03/2014.