

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

COMO FUNCIONA UM MOTOR ELÉTRICO E UM DÍNAMO DE BICICLETA?
EQUIPAMENTOS GERADORES NO ENSINO DE FÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DIORGE DARLON BATISTA ARAÚJO

Vitória da Conquista – Ba

Março 2020

DIORGE DARLON BATISTA ARAÚJO

**COMO FUNCIONA UM MOTOR ELÉTRICO E UM DÍNAMO DE BICICLETA?
EQUIPAMENTOS GERADORES NO ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (PPG) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001

Orientador: Prof. Dr. Wagner Duarte José

Coorientador: Prof. Dr. Ferdinand Martins da Silva

Vitória da Conquista -Ba

Março 2020

A687c

Araújo, Diorge Darlon Batista.

Como funciona um motor elétrico e um dínamo de bicicleta?

Equipamentos geradores no ensino de física. / Diorge Darlon Batista Araújo, 2020.

128f. il.

Orientador (a): Dr. Wagner Duarte José.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2020.

Inclui referência F. 120.

1. Ensino de física - Electromagnetismo. 2. Equipamentos geradores. 3. Três momentos pedagógicos. 4. Educação dialógico - Problematizadora I. José, Wagner Duarte. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. III. T.

CDD 530.7

*Catálogo na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890***

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista - BA



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



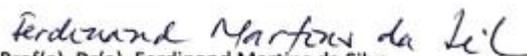
ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado

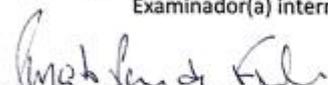
Aos treze dias do mês de março de 2020, às 19h00, no auditório do Módulo IV, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada "Como funciona um motor elétrico e um dínamo de bicicleta? Equipamentos geradores no Ensino de Física", de autoria de Diorge Darlon Batista Araújo, discente do Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pelo(a) professor(a) Dr(a). Wagner Duarte José, orientador(a) do(a) mestrando(a) e contou com a participação dos professores Dr(a) Renato Pereira de Figueiredo, Dr(a) Jornandes Jesús Correa e Dr(a) Ferdinand Martins da Silva, na condição de examinadores. A sessão teve a duração de 2 h e 30 min. e a banca examinadora emitiu o seguinte parecer: A dissertação atende às exigências do programa considerando texto e produto educacional
A banca recomenda as seguintes correções:
revisão das normas da ABNT e do capítulo 3

A dissertação recebeu o conceito final: Aprovado


Prof(a). Dr(a). Wagner Duarte José
Presidente da Banca Examinadora/Orientador


Prof(a). Dr(a). Jornandes Jesús Correa
Examinador(a) interno(a)


Prof(a). Dr(a). Ferdinand Martins da Silva
Examinador(a) interno(a)


Prof(a). Dr(a). Renato Pereira de Figueiredo
Examinador(a) externo(a)


Diorge Darlon Batista Araújo
Discente


Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves
Coordenadora do PPG-MNPEF



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300





UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



**COMO FUNCIONA UM MOTOR ELÉTRICO E UM DÍNAMO DE BICICLETA?
EQUIPAMENTOS GERADORES NO ENSINO DE FÍSICA**

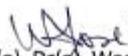
AUTOR(A): DIORGE DARLON BATISTA ARAÚJO

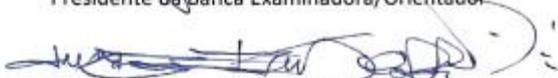
DATA DE APROVAÇÃO: 13 DE MARÇO DE 2020

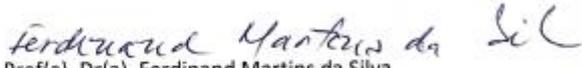
Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

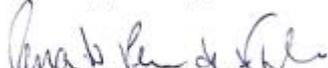
Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA


Prof(a). Dr(a). Wagner Duarte José
Presidente da Banca Examinadora/Orientador


Prof(a). Dr(a). Jornandes Jesús Correa
Examinador(a) interno(a)


Prof(a). Dr(a). Ferdinand Martins da Silva
Examinador(a) interno(a)


Prof(a). Dr(a). Renato Pereira de Figueiredo
Examinador(a) externo(a)

2020



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300



*Dedico ao meu amado e grande Pai (In memoria)
(meu amigão!) que sempre acreditou em mim e
ensinou-me que há algo a mais nas coisas simples
da vida. Onde a maioria enxergava o corriqueiro,
o trivial, para ele morava a beleza, por isso,
desmontar as “coisas” e conhecê-las em sua
profundidade era ir além de nós mesmos e o
fascinava. Fez disso um exercício de curiosidade
permanente, agarrando-se a vida com tanta
intensidade que se faz presente eternamente em
mim.*

AGRADECIMENTOS

Na realização desse trabalho, foi imprescindível o apoio direto ou indireto de inúmeras pessoas e instituições às quais sou profundamente agradecido. Correndo o risco de ser injusto e não mencionar alguns desses, quero deixar expresso os meus agradecimentos:

Ao professor Wagner Duarte José, meu estimado orientador, que me trouxe uma nova perspectiva de vida, sendo exemplo de profissional e ser humano. Nos momentos mais difíceis sempre me compreendeu e apoiou. Quando as minhas vistas turvaram sinalizou o caminho para que a caminhada prosseguisse, mostrando o verdadeiro significado da educação freiriana, na qual educando e educador caminham juntos. Muito obrigado por tudo!

Ao meu coorientador, Ferdinand Martins da Silva, que sempre foi muito atencioso e cordial, tornando-se um amigo.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições valiosas e observações precisas que aprimoraram e agradeceram o meu estudo.

Aos professores, Luizdarcy e Valmir, por terem as palavras certas nos momentos mais difíceis dando-me serenidade para prosseguir.

Aos professores do MNPEF-UESB, por terem sido tão gentis e disponíveis em compartilhar seus conhecimentos enriquecendo meus estudos e formação.

Aos colegas do mestrado que não poderiam ter sido melhores, sempre disponíveis em ajudar e colaborativos para que essa caminhada fosse vitoriosa.

Aos alunos, colegas e funcionários do Colégio Estadual José Batista da Mota, que abraçaram esse trabalho com grande entusiasmo e nunca esmoreceram, mesmo diante do fechamento do Colégio efetivado no final de 2018 pelo governo do estado.

Aos meus amados pais, Eldi e Nelson Rodrigues (*In memoria*), meus maiores exemplos e orgulho, pois nunca mediram esforços para verem seus filhos felizes e realizados, sempre nos apoiando e torcendo pelo nosso sucesso. Fizeram-me sempre ir além, ao acreditar muito em mim. Meu amor eterno!

Aos meus e irmãs, Katiane e Renato, por estarem sempre presentes em todos os momentos, não medindo esforços para me apoiarem. Obrigado pelo carinho e companheirismo incondicional.

A minha esposa, Thaíla, que tem sido minha companheira de vida, dividindo com muito amor, bravura e compreensão todos os momentos, sem ela essa caminhada nunca teria sido possível. Meu profundo amor!

A Sociedade Brasileira de Física e a UESB, que oportunizaram por meio do MNPEF a possibilidade de ampliar meus horizontes e formação, o mestrado tem sido um oásis para os professores da nossa região.

Enfim, a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização da presente dissertação, meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código De financiamento 001.

“Ninguém educa ninguém, ninguém educa a si mesmo, os homens se educam entre si, mediatizado pelo mundo”.

(Paulo Freire)

RESUMO

Nesta dissertação, pesquisamos possíveis articulações entre Equipamentos Geradores e Três Momentos Pedagógicos e suas contribuições para o ensino de Física. Nosso objetivo foi verificar o potencial de uma sequência didática envolvendo Equipamentos Geradores e Três momentos Pedagógicos para o ensino do Eletromagnetismo considerando os conhecimentos de Ciência e Tecnologia, em uma perspectiva dialógico-problematizadora. A sequência foi desenvolvida junto ao 3º ano do Ensino Médio do Colégio Estadual Professor José Batista da Mota, situado na cidade de Macaúbas-Ba. Elegemos motores elétricos e dínamos de bicicleta como Equipamentos Geradores e articulamos a implementação da sequência aos Três Momentos Pedagógicos. Para a produção de dados de pesquisa, do tipo estudo de caso, utilizamos gravações de áudios e diários de bordo, além das atividades realizadas pelos educandos. A análise dos dados e resultados sugerem que, ao problematizarmos a realidade concreta mediatizados pelos Equipamentos Geradores e pautados didaticamente nos Três Momentos Pedagógicos, potencializamos a interação dialógico-problematizadora e a reelaboração dos conteúdos educacionais estabelecendo conexões entre Física, Tecnologia e Sociedade (FTS) no espaço da sala de aula. Com essa dinâmica contribuímos para o aprendizado ao possibilitar aos estudantes um primeiro passo para superarem a curiosidade ingênua em direção à curiosidade epistemológica (FREIRE, 1996), substituindo a passividade por aptidões técnicas e científicas (BAZIN, 1977). Dessa forma, acreditamos termos avançado na busca em romper com o modelo tradicional de ensino no sentido de um processo de ensino-aprendizado dialógico-problematizador que valoriza as experiências dos educandos e favoreça a criticidade, autonomia e atitudes colaborativas.

Palavras-chave: Equipamentos Geradores; Três Momentos Pedagógicos; Educação dialógico-problematizadora; Eletromagnetismo.

ABSTRACT

In this dissertation, we researched possible articulations between Generating Equipment and Three Pedagogical Moments and their contributions to the teaching of Physics. Our objective was to verify the potential of a didactic sequence involving Generating Equipment and Three Pedagogical moments for the teaching of Electromagnetism considering the knowledge of Science and Technology, in a dialogical-problematizing perspective. The sequence was developed in the 3rd year of high school at the Colégio Estadual Professor José Batista da Mota, located in the city of Macaúbas-Ba. We chose electric motors and bicycle dynamos as Generating Equipment and articulated the implementation of the sequence to the Three Pedagogical Moments. For the production of research data, of the case study type, we use audio recordings and logbooks, in addition to the activities carried out by the students. The analysis of the data and results suggest that, when we problematize the concrete reality mediated by the Generating Equipment and didactically guided by the Three Pedagogical Moments, we enhance the dialogical-problematizing interaction and the re-elaboration of the educational contents establishing connections between Physics, Technology and Society (FTS) in the classroom space. With this dynamic, we contribute to learning by enabling students to take a first step towards overcoming naive curiosity towards epistemological curiosity (FREIRE, 1996), replacing passivity with technical and scientific skills (BAZIN, 1977). In this way, we believe we have advanced in the search to break with the traditional teaching model in the sense of a dialogical-problematic teaching-learning process that values the students' experiences and favors criticality, autonomy and collaborative attitudes.

Keywords: Generating equipment; Three Pedagogical Moments; Dialogical-problematizing education; Electromagnetism.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Identificação dos artigos selecionados que tratam da metodologia dos 3MP voltada ao ensino de Física na temática da eletricidade para Educação Básica, de acordo com os periódicos nacionais de versão on-line.....	31
Quadro 2 - Resumo da sequência didática aplicada.....	58
Quadro 3 - Transcrição das falas dos estudantes (gravadas em áudio durante as aulas)	66
Quadro 4 - Transcrição das falas dos estudantes (gravadas em áudio durante as aulas)	67
Quadro 5 - Transcrição do diálogo do Professor com a estudante (gravadas em áudio durante as aulas)	68
Quadro 6 - Transcrição do diálogo do Professor com a estudante, gravadas em áudio durante as aulas.....	69
Quadro 7 - Transcrição das falas dos estudantes, gravadas em áudio durante as aulas	72
Quadro 8 - Transcrição das falas dos estudantes, gravadas em áudio durante a aula	73
Quadro 9 - Transcrição das falas dos estudantes, gravadas em áudio durante a aula.	74

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** – (a) Em um meio isolante, na ausência de campo elétrico, as moléculas estão orientadas aleatoriamente. (b) Na presença de um campo elétrica E_0 , as moléculas são orientadas. (c) Um campo elétrico induzido E_{ind} é criado no sentido oposto ao campo externo. Isso torna o campo total no meio seja menor do que o campo externo.37
- Figura 3.2** – (a) Linhas de campo elétrico que atravessam a superfície S, mostrando que o existe fluxo de campo elétrico através da superfície. (b) A mesma quantidade de linhas de campo elétrico que entra na superfície também sae da superfície, portanto o fluxo de campo elétrico sobre a superfície é nulo.39
- Figura 3.3** – Representação das linhas do vetor indução magnética para um imã em barra. As linhas saem pelo polo norte e entram pelo polo sul, de maneira que para qualquer superfície escolhida, o número de linhas que sai da superfície é igual ao número que entra, indicando que o fluxo do vetor indução magnética para essa superfície é nulo.40
- Figura 3.4** – Experimento de Oersted – Uma bússola situada abaixo do fio condutor. A agulha da bússola gira quando uma corrente elétrica passa pelo fio, indicando que um campo magnético surge com a passagem da corrente.42
- Figura 3.5** – Exemplos do uso de eletroímãs. A corrente elétrica quando percorre uma bobina é capaz de gerar um campo magnético. (a) Eletroímã usado para separação de material ferromagnético. (b) Eletroímã usado em trem bala faz com que o veículo flutue e assim diminua o atrito com os trilhos.42
- Figura 3.6** - Elemento de corrente produz um elemento de campo magnético no ponto P para dentro do papel.43
- Figura 3.7** – Regra da mão direita nº 01 usada para determinar o sentido das linhas de campo magnético gerada pela corrente elétrica. Segurando o fio com a mão direita, aponta-se o polegar na direção e sentido da corrente, os outros dedos indicam o sentido do campo magnético.....44
- Figura 3.8** – Capacitor de placas planas paralelas. A superfície S_1 é o círculo delimitado pelo caminho C que atravessa o fio por onde passa uma corrente elétrica, gerando um campo magnético não nulo. A superfície S_2 passa no espaço vazio entre as placas do capacitor e não corta nenhum fio de ligação, logo o campo magnético é nulo. Para as suas superfícies o contorno C é o mesmo, o que mostra uma inconsistência física.45
- Figura 3.9** – (a) Partícula carregada sofre desvio ao passar pelo campo magnético, indicando a ação de uma força magnética. (b) Fio condutor quando na presença de um campo magnético também sofre a ação de uma força de origem magnética, cujo sentido depende do sentido da

corrente. (c) Esquema que ilustra a regra da mão direita nº 02, usada para determinar a direção e o sentido da força magnética. Para carga positiva, o polegar aponta no sentido da velocidade, os outros dedos apontam no sentido do campo magnético e a palma da mão indica a direção e sentido da força. Para carga negativa, segue-se o mesmo procedimento descrito, mas o sentido da força é oposto ao mostrado pela regra da mão direita nº 02. 47

Figura 3.10 – Esquema do motor elétrico simples. O rotor é uma espira de fio que pode girar livremente no interior do campo magnético; nas extremidades do rotor estão os comutadores que quando em contato com as escovas transmite corrente elétrica, fazendo o rotor girar. Entre os comutadores existe um material isolante que não permite a passagem de corrente. 49

Figura 3.11 – (a) Esquema que ilustra o experimento realizado por Faraday. Ao aproximar (ou afastar) o ímã de uma bobina, uma corrente elétrica é induzida. (b) Aplicação da indução eletromagnética no dínamo de bicicleta para acender uma luz de sinalização. 50

Figura 3.12 – O fluxo do campo magnético mede o número de linhas de indução que atravessa a área A de uma espira imersa no campo magnético. A mudança na direção da área da espira influencia na variação desse fluxo. 52

Figura 3.13 – Esquema básico de um gerador. A voltagem é induzida na espira quando ela é girada dentro do campo magnético do ímã. 52

Figura 4.1 – Tirinha em quadrinhos: a furadeira elétrica 60

Figura 4.2 – Apresentação do motor de indução e do dínamo 61

Figura 4.3 – Experimento virtual da lei de Faraday 62

Figura 4.4 – Reprodução moderna dos procedimentos e observações de Oersted..... 62

Figura 4.5 – Experimento feito pelo grupo 1 63

Figura 4.6 – Experimento dos alunos 64

Figura 5.1 – Questão presente no livro didático adotado pelo colégio e que foi respondida pelos educandos 71

Figura 5.2 – Trecho da resposta dada pelo educando, evidenciando a compreensão científica do tema abordado..... 71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Equipamentos Geradores.....	20
2.2	Os Três Momentos Pedagógicos	24
2.3	Estudos abordando os Três Momentos Pedagógicos	30
3	ELETROMAGNETISMO	34
3.1	Equações de Maxwell.....	34
3.2	Corrente elétrica e campo magnético.....	41
3.3	Força magnética	47
3.4	Motor elétrico	48
3.5	Indução eletromagnética	49
3.6	Lei de Faraday	51
3.7	Geradores	52
4	METODOLOGIA.....	55
4.1	Estudo de caso	55
4.2	Lócus e sujeitos da pesquisa.....	55
4.3	Instrumentos para a produção de dados	56
4.4	Descrição da proposta	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
	APÊNDICE	87

1 INTRODUÇÃO

Meu interesse pela Física surgiu antes mesmo que eu soubesse o seu significado. Quando criança estava sempre na companhia de meu pai, para minha sorte uma pessoa bastante curiosa, trabalhador autônomo, um homem com pouca formação escolar, porém com muito conhecimento prático e técnico adquirido da experiência de vida. Não havia equipamento elétrico ou mecânico que não soubesse consertar, isso me intrigava, pois de um amontoado de fios, engrenagens, peças miúdas, ele ia juntando tudo e constituíam-se motores integrantes de outras máquinas que servia para uma infinidade de aplicações, aquilo me fascinava, e toda vez que eu perguntava como ele fazia, a resposta era “fazendo”.

As experiências vividas com meu pai foram as primeiras que recorro ter despertado meu interesse para entender como as “coisas” funcionam e de como construí-las, direcionando-me posteriormente ao estudo da física. Lembro-me de um episódio, no qual um conhecido comentou com meu pai que não imaginaria o que ele seria capaz de fazer se tivesse estudado engenharia, a partir de então, meu interesse por essa área foi despertado. O episódio havia ocorrido ao mesmo tempo em que iniciei o ensino médio e pela primeira vez conhecido a física.

A princípio, ao estudar a disciplina achei incríveis as teorias por trás das explicações dos fenômenos examinados, porém, ao longo do tempo, diante da limitação de recursos e metodologias empregadas nas aulas, a monotonia se impôs sobre o fascínio e a dificuldade em compreender o que era estudado tornou-se imperativo. Assim, outro fator preponderante para minha trajetória ocorreu, por conta das dificuldades com a matéria comecei a estudar por outros materiais, distintos dos livros didáticos adotados no colégio, resultando em uma melhora de desempenho nas avaliações. Minha mãe professora incentivou-me a ajudar os colegas nos estudos de física por meio de banca, algo que gostei muito de fazer e me chamou a atenção para a docência.

A partir disso, a dúvida entre a engenharia e a licenciatura em física surgiu e persistiu por algum tempo no ensino médio, porém optei pela física e no segundo semestre de 2004 ingressei no curso de graduação em Licenciatura em Física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) dando início a minha trajetória acadêmica.

No segundo semestre do curso fui bolsista em um programa de iniciação científica da Universidade, realizei estudos sobre raios cósmicos de ultra-alta energia sob a orientação do Professor Marcelo Augusto Leigui e tive a oportunidade de participar da organização da primeira semana de Física da UESB, na qual conheci o Professor Luiz Carlos de Menezes, que me presenteou com um de seus livros “Vale a pena ser físico?” (MENEZES, 1988). A obra

trouxe-me reflexões mais profundas sobre o que é ser físico e a ideia de estudar os aparelhos tecnológicos por meio dos princípios físicos pareceu-me uma prática interessante para a sala de aula, além de retomar uma curiosidade de infância. Mas, por problemas pessoais necessitei realizar trancamento do curso em 2006, retomando efetivamente apenas em 2008.

Com o trancamento perdi um pouco do entusiasmo e não aprofundei a ideia anterior, concluí o curso em 2010 e no mesmo ano fui aprovado no concurso para professor do Estado da Bahia, passando a lecionar física no Colégio Estadual Professor José Batista da Mota na cidade de Macaúbas, a partir de 2011.

Depois de sete anos de docência, comecei a sentir a necessidade de repensar minha prática pedagógica, pois percebi a apatia e o desinteresse dos estudantes pelas aulas, um problema quase generalizado na educação básica. Por meio de estudos e leituras a respeito de práticas e dinâmicas didático-pedagógicas fui compreendendo que os estudantes devem ser incluídos no processo de ensino-aprendizagem de maneira ativa, de modo a expressarem o conhecimento já constituído, tornando o diálogo problematizador entre educando e educador essencial (DELIZOICOV, 1982).

Todavia, minha prática era direcionada pelo ensino tradicional, no qual o professor é condutor do raciocínio lógico a ser perseguido pelos alunos. Nesse modelo o docente é o protagonista do processo de ensino-aprendizagem e o discente mero receptor de conteúdo a ser memorizado, o que Freire (1996) denomina de educação “bancária”.

Assim, vislumbrei no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da UESB a oportunidade de refletir em relação a minha prática docente e aprofundar os estudos a respeito de novas dinâmicas e metodologias.

Ingressei no MNPEF em 2018. Ao cursar a disciplina Processos e Sequências de Ensino e Aprendizagem em Física no Ensino Médio, no segundo semestre do curso, ministrada pelo Professor Wagner Duarte José, realizamos estudos sobre Equipamentos Geradores e os Três Momentos Pedagógicos (3MP) o que me despertou a ideia em explorar a experiência vivida com meu pai no manuseio de motores e aparelhos elétricos. Pensamos ser possível desenvolver uma sequência didática relacionando as duas dinâmicas que fosse plausível o desvelar de aparatos tecnológicos, no contexto que os mesmos são empregados, estimulando o processo dialógico-problematizador dando o primeiro passo para que os estudantes reflitam criticamente sobre seu contexto sociocultural e progrida em direção a curiosidade epistemológica (FREIRE, 1996) ao estudar os conteúdos científicos.

Diante da necessidade de mudanças no ensino médio, por conta do grande índice de evasão escolar, desinteresse, repetência e desmotivação dos educandos, acreditamos que novas

práticas e metodologias podem contribuir para transformação do processo de ensino-aprendizagem. Uma dinâmica que envolva o conceito de Equipamentos Geradores e os Três momentos constitui uma alternativa viável sem retirar do polo central o conhecimento, possibilitando ainda, trabalhar com situações significativas para o estudante. Conforme afirma (PERNAMBUCO, 1994, p. 2)

A escola pública brasileira tem excluído da plena cidadania, de diferentes formas, parcela significativa de sua clientela. Além de excluir literalmente pela reprovação e pela evasão, prejudica e mesmo exclui de uma atuação qualificada seus contingentes, aprovados ou não, ao não lhes possibilitar acesso real ao conhecimento. Essas três formas de exclusão estão ligadas, não só, mas também ao papel do conhecimento na prática escolar. A transformação necessária da escola, a nova dinâmica que se impõe, a mudança das práticas escolares, certamente não se restringem às coisas 'relativas ao conhecimento' – no entanto, imaginar qualquer transformação que não coloque a questão do conhecimento como pólo central é descaracterizar a função básica da escola.

Ao permitir que os alunos manipulem os aparelhos realizando o seu desmonte na prática, na busca da apreensão dos conceitos físicos envolvidos, têm-se uma maior aproximação entre ciência e tecnologia, além de fomentar a discussão de seu impacto local e globalmente, explorando também sua evolução e empregabilidade, o que reforça o caráter da educação voltada para a cidadania. Ademais, a relação entre ciência e tecnologia tem permeado debates acerca dos impactos sociais e ambientais do desenvolvimento tecnológico. Em uma sociedade globalizada é necessário explorar essas questões em sala de aula, trabalhando as diversas visões de mundo dos estudantes. A análise de aparatos tecnológicos com base em princípios e leis da física torna-se uma oportunidade para isso, além de ser uma possibilidade de rompermos com o imperialismo cultural na perspectiva da educação como prática da liberdade (BAZIN, 1977).

O Ensino de Física utilizando o conceito de equipamentos geradores pressupõe o desvelamento dos conhecimentos físicos impregnados em objetos tecnológicos sendo capaz de produzir uma proposta educacional. Estudá-los por meio de atividades é uma prática dialógica que parte do contexto sociocultural do estudante e proporciona a compreensão dos conhecimentos físicos (AUTH *et al.*, 1995). Torna-se possível, a partir deles, fomentar aptidões científicas e técnicas necessárias aos educandos, ao conferir-lhes maior autonomia para refletirem e atuarem sobre os meios de produção (BAZIN, 1977).

Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) sugerem que o ensino por intermédio de temas seja abordado didaticamente por meio de Três Momentos Pedagógicos (3MP): 1 - Problematização Inicial (abordam-se questões da vivência dos estudantes envolvidas com o tema, problematizando seus conhecimentos e instigando a necessidade de novos conhecimentos

dentro das discussões); 2 - Organização do Conhecimento (trabalham-se os conhecimentos necessários sob a mediação do professor, auxiliando na compreensão e aprofundamento do tema abordado); 3 - Aplicação do Conhecimento (ocasião em que os estudantes, com base nos novos conhecimentos, conseguem analisar e interpretar as situações abordadas inicialmente e outras relacionadas). Os autores ressaltam que os 3MP não são lineares e nem estanques, mas entrelaçados.

Assim, a articulação entre os equipamentos geradores e os 3MP podem desencadear uma concepção de ensino-investigação-aprendizagem apoiada na inserção de instrumentos tecnológicos como balizadores de discussões que abrangem diferentes visões de mundo sobre o tripé Física, Tecnologia e Sociedade (FTS), levando em consideração situações reais dos sujeitos educativos, tomadas como emblemáticas. Trata-se de desenvolver a curiosidade epistemológica freireana (FREIRE, 1996) como processo educativo que, inclusive, se estende à formação de professores (MION, 2002).

Entender como os equipamentos funcionam é reconstruir a própria dinâmica cognitiva por trás da construção dos mesmos, revelando ao estudante que a ciência e a tecnologia são frutos de um processo histórico e humano, despertando, portanto, o ser cognoscente, fortalecendo a autonomia de adquirir conhecimento e confiança na sua própria capacidade de pensar (FREIRE, 1996).

Nessa perspectiva formulamos a seguinte questão de pesquisa que norteia nosso estudo: *Qual o potencial da articulação entre equipamentos geradores e os Três Momentos Pedagógicos para o ensino do eletromagnetismo tendo em vista a apropriação crítica de conhecimentos de Ciência e Tecnologia na perspectiva dialógico-problematizadora?*

Para respondê-la, desenvolvemos uma situação de ensino em física na temática do Eletromagnetismo, por meio da problematização do cotidiano científico-tecnológico dos estudantes. Elegemos motores elétricos e dínamos de bicicleta como equipamentos geradores e articulamos a estratégia didática aos três momentos pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002).

A seleção dos equipamentos foi direcionada pela proximidade que os estudantes tinham com os mesmos devido às atividades profissionais de seus pais e familiares. Por conta das experiências vividas com meu pai, que também são comuns aos educandos envolvidos na situação de ensino, visto serem filhos de trabalhadores na maior parte autônomos (pedreiros, marceneiros, serralheiros, costureiras, lavradores, dentre outros), que fazem uso dos equipamentos em suas atividades laborais, bem como, pela possibilidade de explorar a física do eletromagnetismo envolvida na construção e funcionamento dos aparelhos.

Vale ressaltar que a localidade da realização da pesquisa está situada no Vale da Bacia do Paramirim, uma região de grande potencial mineral. Rica em minério de Ferro, Zinco, Cobre, Grafeno, Terras Raras e Fosfato, constitui uma das maiores reservas da Bahia, assim, por meio dos equipamentos geradores selecionados foi possível abordar a extração mineral e questões socioambientais, recorrendo a discussões que envolvem o uso de carros elétricos e a utilização de terras raras na fabricação de seus motores.

Nesse sentido, objetivamos analisar o potencial de uma sequência didática envolvendo equipamentos geradores e os três momentos pedagógicos para o ensino do eletromagnetismo, considerando os conhecimentos de Ciência e Tecnologia, em uma perspectiva dialógico-problematizadora. Tivemos como objetivos específicos:

- Investigar o potencial dos equipamentos geradores como proposta de ensino acerca do eletromagnetismo sob o olhar do tripé Física, Tecnologia e sociedade.
- Verificar as contribuições de atividades práticas e experimentais de demonstração em grupo pautadas nos três momentos pedagógicos utilizando a concepção de equipamentos geradores.
- Identificar as contribuições e limitações da situação didática implementada para articular os pressupostos dos equipamentos geradores aos três momentos pedagógicos.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa tem uma conotação qualitativa, tratando-se de um estudo de caso (LUDKE; ANDRÉ, 1986). As aulas foram registradas em áudio, além da elaboração de um diário de bordo pelo pesquisador contendo as ações, atividades e observações realizadas.

Desenvolvemos a proposta didática a partir dos equipamentos geradores estruturada nos Três Momentos Pedagógicos em oito aulas, entre setembro e outubro de 2018, no 3º ano do Ensino Médio no Colégio Estadual Professor José Batista da Mota situado na cidade de Macaúbas-Ba. Para sua realização produzimos uma sequência didática (SD) com estratégias pedagógicas variadas empregando atividades práticas, teóricas, realização de experimentos, utilização de vídeo e simulação em hipermídia. Para tanto, montamos um roteiro pedagógico, *Kits* experimentais com guia de atividade e slides para aula. A junção desse material constitui o produto educacional.

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo 2 temos a fundamentação teórica em que é abordado o conceito de Equipamentos Geradores, a dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos e estudos orientados por essas dinâmicas, já no capítulo 3 tratamos de alguns tópicos do Eletromagnetismo. No capítulo 4, abordamos a metodologia os instrumentos utilizados para levantamento de dados e a sequência didática desenvolvida. No

capítulo 5, apresentamos os resultados e discussão sobre a aplicação do produto educacional. E, no capítulo 6, encontram-se as considerações finais. No apêndice apresentamos o produto educacional produzido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A rejeição à Física no Ensino Médio pode ser facilmente verificada empiricamente por qualquer professor em sala de aula. Essa rejeição está associada, na maior parte das vezes, à forma como os conteúdos são abordados durante o processo de ensino-aprendizagem, calcado no modelo tradicional de educação que mantém os estudantes perfilados e passivos receptores de informações descontextualizadas e sem nexos com a realidade vivida, caracterizando a “educação bancária” (FREIRE, 1996). O desinteresse torna-se ainda mais evidente quando são trabalhados assuntos mais complexos como o eletromagnetismo, por exemplo, no qual os educandos só enxergam um amontoado de fórmulas e regras que devem ser memorizadas, tendo sua única aplicabilidade na resolução de exercícios e testes desprovidos de significados para os mesmos.

Com esse panorama apresentamos, neste capítulo, o referencial teórico que norteia a pesquisa desenvolvida, Equipamentos Geradores e os Três Momentos Pedagógicos (3MP). Abordamos a utilização de aparatos tecnológicos como geradores de programa educacional na interface Ciência e Tecnologia, bem como no processo metodológico através do diálogo-problematizador. Além de apresentar um breve contexto do desenvolvimento dos 3MP, suas orientações teóricas e metodológicas e estudos orientados por essa dinâmica.

2.1 Equipamentos Geradores

Ao longo dos anos pesquisadores buscam apontar alternativas à educação tradicional, de modo a potencializar o processo ensino-aprendizagem, esse esforço se estende ao ensino de Física, em especial no ensino médio, no qual a limitação de recursos e outras adversidades contribuem para o baixo desempenho dos educandos. Alguns pesquisadores da área de ensino abordaram sistemas físicos (objetos reais) como recurso didático, buscando potencializar o diálogo no ambiente escolar. O trabalho de Bastos (1990) estruturou essa proposta trazendo a concepção de alfabetização técnica de Maurice Bazin (1977) ancorada na pedagogia dialógica e problematizadora de Freire (2001). Destaca-se na mesma linha dialógica e problematizadora Menezes (1980) Angotti (1982) e Delizoicov (1982) com a prática da educação dialógica (AUTH; BASTOS, *et al.*, 1995).

A ideia é trabalhar com objetos reais do cotidiano que podem se tornar geradores de um programa educacional em ciências naturais. Não se trata de eleger “temas geradores” devido à limitação formal de tempo e um programa já preestabelecido e, sim, fazer dos objetos,

equipamentos geradores. O conceito de equipamentos geradores, segundo Bastos (1995) emerge da utilização de aparatos tecnológicos e/ou objetos concretos do cotidiano, que possibilitam explorar por meio de um plano de aula ou um programa educacional, leis, teorias e princípios físicos envolvidos na fabricação e no funcionamento desses. Estudá-los em atividades teórico-experimentais é uma prática dialógica que parte do contexto sociocultural do estudante e proporciona melhor compreensão dos conhecimentos físicos (BAZIN, 1997; MION; ANGOTTI, 2004).

Para Bazin (1977), o cientista deve ir além das suas próprias contradições, que reconhecendo seus privilégios sendo possuidor de um conhecimento técnico, pode decidir pôr utilizá-lo a favor dos oprimidos, abandonando as teorias abstratas em busca da prática libertadora (FREIRE, 2011). A trajetória educacional de Maurice Bazin está relacionada com tal prática, ao ter atuado com trabalhadores chilenos em um programa de alfabetização técnica, e no Brasil durante a ditadura militar, divulgando e desmistificando a Ciência e a Tecnologia com trabalhadores em praças públicas e no Espaço Ciência Viva (SAITO; BASTOS, 2018).

Segundo Bazin (1977) é preciso reconhecer o valor educativo da situação, trabalhar os problemas concretos e permitir que possam ser estabelecidas discussões sobre o que é abordado, sem abarrotar os estudantes com fórmulas e leis, permitindo que dominem alguns aspectos técnicos, ao invés de lidar apenas com princípios abstratos. Em lugar de apresentar um aparelho misterioso que o estudante possa apenas se maravilhar com seu funcionamento, Bazin (1977) sugere que eles mexam, desmontem, penetrem, compreendam, dominem e percebam como foi construído e entendam o princípio de seu funcionamento, assim acabarão por perceber que o que fizeram não está distante e restrito apenas a homens excepcionais como lhes eram apregoado. “Criar-se-á assim no homem do povo a confiança em si mesmo face aos problemas que lhe permite deixar de venerar os prémios Nobel, deixar de aceitar o imperialismo cultural que representam [...]” (BAZIN, 1977, p. 95).

Com relação ao caráter da alfabetização técnica percebida no trabalho de Maurice, destaca-se o aspecto do desígnio e conscientização política (SAITO; BASTOS, 2018), assim como é percebido nos trabalhos de Freire. Bazin (1977) propunha transmitir um poder de análise intelectual aos oprimidos, relacionando a alfabetização técnica com um desígnio político. Alfabetizar só tem sentido, se o uso da ciência e os conhecimentos técnicos fizerem com que o homem possa atuar sobre a realidade modificando o mundo, tornando-se capaz de gerenciar os meios de produção. Assim, cabe aos cientistas participarem no mesmo objetivo ideológico, não atuando apenas para transmitir uma mera habilidade técnica, mas sim, aptidões e atitudes científicas.

Sendo importante, portanto, destacar a influência do pensamento de Paulo Freire, para a teoria de Bazin, além da teoria da ação dialógica problematizadora (FREIRE, 2001) na sua prática.

Se uma comunidade de ensino de ciências puder se manter em torno destes princípios, poderá encontrar o caráter libertador do diálogo na educação proposto por Paulo Freire em *The Pedagogy of the Oppressed*: ‘os esforços do educador humanista e revolucionário devem ser imbuídos de uma profunda confiança nas pessoas e no seu poder criativo, para o qual a relação do educador com os alunos deve ser uma parceria ... O professor não pode pensar para seus alunos, nem pode impor seu pensamento sobre eles. O pensamento autêntico, pensamento que está preocupado com a realidade, não ocorre no isolamento da torre de marfim, mas apenas na comunicação’ (BAZIN, 1988b, p. 19 *apud* SATIO; BASTOS, 2018).

Anderson e Bazin (1977) na sua obra *Ciência e (In)Dependência* evidenciam a preocupação com o papel social da ciência, destacando a utilização da mesma no processo do colonialismo cultural “a utilização dada às *ciências puras* depende inteiramente da atitude que, do seio dos países *desenvolvidos*, guia os cientistas que se dizem puros e canalizam o imperialismo cultural e o condicionamento ideológico” (BAZIN, 1977, p. 30). Logo, defendem que a ciência não deve ser neutra e deve ter seu caráter emancipador exercitado.

O traço crítico se faz presente ao realçar a preocupação com o papel social da ciência. José, Santos e Bastos (2001) ressaltam que a ciência e a tecnologia deixam de ser compreendidas como isentas na transformação da natureza, sendo conceituadas dentro de uma relação dialética com a evolução da sociedade, fruto da práxis do homem, como destacado:

Originam na práxis produtiva humana, reflexiva e transformadora do homem sobre o mundo, possuem uma história, determinam os modos de produção e consumo e são determinadas por estes, humanizam (o emancipam) e desumanizam o homem (vem completar sua alienação) (VASQUEZ, 1977; VIEIRA PINTO, 1985 *apud* JOSÉ, SANTOS, BASTOS, 2001).

Um dos caminhos apontados para exercitar a criticidade na prática para a liberdade, em direção da alfabetização técnica “consiste em estirpar o mito das caixas pretas (dos aparelhos misteriosos, intocáveis, sobre os quais não se fazem perguntas)” (BAZIN, 1977, p. 96). Apesar dos aparatos tecnológicos fazerem parte do cotidiano não fazem parte do conhecimento da população. Para Bazin, mesmo que uma sociedade tenha um nível de tecnologia elevada, isso não garante que as tecnologias façam parte da cultura do povo dessa sociedade. A utilização corriqueira de computadores e diversos outros objetos tecnológicos não implica diretamente na compreensão de seu funcionamento como das antigas máquinas de escrever mecânicas. Esses

instrumentos tem ficado cada vez mais distantes do conhecimento popular, tornando-se cada vez mais impenetráveis.

O rápido desenvolvimento da ciência e tecnologia e seu espalhamento pelo setor produtivo calcado em uma sociedade de consumo, transforma-se em motivo de preocupação devido a degradação ambiental derivada, e pela própria degradação das relações trabalhistas, fazendo com que os trabalhadores sejam “impelidos para a categoria dos excluídos em função do acirrado modelo sócio-econômico capitalista” (JOSÉ; SANTOS; BASTOS, 2001, p. 4). Assim, a tecnologia da vida prática opaciza a cultura humana (FREIRE, 2001), sendo necessária a descodificação científica, através da análise crítica do tripé ciência-cultura-sociedade. (SAITO; BASTOS, 2018).

Para Angotti, Bastos e Mion (2001) deve haver uma preocupação para além de fazerem as coisas funcionarem ou compreender como elas funcionam, há o componente da emancipação, que está relacionada com a “adequada interpretação” do significado que a tecnologia possui, capaz de libertar do desconhecimento. O processo de ensino-aprendizagem em Física, passa então, por abordar conhecimentos científicos históricos e socialmente cronstruídos, de maneira a permitir que para além de compreender os fenômenos naturais, lidar com suas aplicações na transformação da natureza, fornecendo subsídios para interpretar, refletir e atuar sobre os processos produtivos, ambientais e socioeconômicos.

Angotti, Bastos e Mion (2001) defendem uma proposta curricular via investigações e ações no espaço formal, de tal modo a permitir a transformação de objetos tecnológicos em equipamentos geradores. Assim, ao operacionalizar o processo ensino-aprendizagem com equipamentos geradores, por meio da alfabetização técnica, envolve-se problemas concretos da realidade, discutindo o funcionamento e às situações/fenômenos tomados como significativos, capazes de fortalecer ações educativas, associadas à realidade efetiva (BASTOS, 1990).

Segundo Auth (1995) a utilização de equipamentos geradores no processo de ensino aprendizagem pode atenuar o risco de desvinculação com a realidade. O manuseio reflexivo peculiar à prática dialógica favorece a compreensão conceitual das teorias físicas e a atividade teórico-experimental via equipamentos geradores, possibilita aos envolvidos atuarem como cidadãos, mesmo estando no espaço escolar formal. Tornando a física um instrumento de compreensão do espaço que estamos inseridos.

2.2 Os Três Momentos Pedagógicos

Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) consiste em uma dinâmica didático-pedagógica que incorporou os elementos freirianos sob a perspectiva de uma abordagem temática (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002), explorada inicialmente por Delizoicov (1982) ao transpor a concepção de Freire para a esfera da educação formal.

No panorama temático, os conteúdos programáticos passam a não definir os currículos e, sim, os temas que surgem da realidade dos educandos, constituindo currículos contextualizados com tal realidade, apresentando como princípios fundamentais a problematização e a dialogicidade. “Assim, a experiência existencial do educando é o ponto de partida da “educação problematizadora”, que o considera num contexto de vida (numa realidade) possível de ser conhecido e modificado” (DELIZOICOV, 1983, p. 86).

Partindo dessa premissa, os conteúdos são abordados de maneira a responder as problematizações levando à compreensão do tema, passando, portanto a ser meio para o entendimento do tema abordado e não o fim por si só, como na “educação bancária” (FREIRE, 1996), na qual o conteúdo é trabalhado de maneira descontextualizada e sem significado concreto para a realidade do educando.

Ao incorporar a concepção dialógica e problematizadora de Paulo Freire (1996) e partindo da realidade do educando promove-se o distanciamento crítico em busca de conhecimentos que possibilitem a reflexão e ação dos homens sobre o mundo para, transformando-se, transformá-lo (FREIRE, 2001).

As primeiras reuniões que ensejaram no posterior desenvolvimento dos 3MP, ocorreram no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) no ano de 1975, no qual um grupo de pesquisadores buscava propostas para o ensino de Ciências, de modo a considerar a compreensão do mundo físico em que o estudante vivia (MENEZES, 1988; 1996). Dentre os participantes estavam os professores Luís Carlos de Menezes, João Zanetic e os então alunos de pós-graduação Demétrio Delizoicov e José André Angotti (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2012).

Os pesquisadores Demétrio Delizoicov seguido por José André Angotti transpuseram para a educação formal as concepções de Paulo Freire em consonância com as discussões no IFUSP. A primeira experiência foi realizada junto ao Centro de Educação Popular Integrada (CEPI) no Projeto de Formação de Professores de Ciências Naturais na Guiné-Bissau (DELIZOICOV, 1980; ANGOTTI, 1981 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2012), no qual

atuaram na formação de professores e produção de materiais didáticos para um modelo de escola de 5ª e 6ª séries do 1º grau, voltada para o meio rural.

No CEPI a estruturação do currículo era feita por meio de temas ligados a vivência da população, o que guarda certa semelhança com as concepções de Freire (2011) e para a realização das atividades utilizava um “roteiro pedagógico” constituídos em três momentos: “Estudo da realidade” (ER), “Estudo Científico” (EC) e “Trabalho Prático” (TP). (DELIZIOCOV, 1982).

Os pesquisadores adotaram o roteiro para o desenvolvimento da formação dos professores e do material a ser utilizado no ensino de ciências, inserindo aspectos de uma metodologia que utilizasse a investigação temática, efetivasse o diálogo já presente e a problematização. Após algumas incorporações foi possível a construção crítica de um novo roteiro, que deu origem ao que hoje denominamos de Três Momentos Pedagógicos (3MP). (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2012).

Ao inserir a problematização buscava-se a atuação crítica dos envolvidos no processo de ensino-aprendizagem numa relação horizontal, evidenciando as situações relevantes da vivência do estudante. Assim, o diálogo problematizador propicia o descortinar do conhecimento de senso comum dos educandos pelo educador, conhecendo suas limitações e possíveis contradições. Esse processo favorece ainda, o distanciamento crítico do educando ao ser confrontado com situações limites expostas ao seu conhecimento, ao tempo que possibilita que o educador proponha alternativas de apreensão do conhecimento científico.

Portanto, o primeiro momento pedagógico intencionava a participação ativa do educando nos debates e discussões encaminhadas pelo professor, sendo compreendido como Estudo da Realidade. Já o segundo momento, buscava a abordagem de conhecimentos científicos de forma a propiciar a compreensão de situações significativas da vivência dos educandos.

Dentre as mudanças e incorporações ocorridas nos 3MP derivadas do “roteiro pedagógico”, a mais significativa ocorreu no terceiro momento com a mudança de nomenclatura de “Trabalho Prático” para “Aplicação do Conhecimento”, que não se resume somente a mudança de nome, mas sim a função deste momento, transpassando a finalidade inicial de realização de atividades e produção de materiais impelidos pelo “Estudo do Conhecimento”, a mudança vai mais além, destinava-se a compreensão de situações primeiras, fruto das problematizações iniciais e, ainda, extrapolar questões mais globais que podem ser compreendidas a luz dos conteúdos explorados no segundo momento. Sobre tais aspectos, Muenchen e Delizoicov (2012) enfatizam:

O terceiro momento pedagógico, denominado Aplicação do Conhecimento, é considerado a primeira transformação do roteiro pedagógico, segundo considerações de Delizoicov (1982, 1991) a partir do que havia sido implementado pelo CEPI. Para além da mudança de nome, verifica-se que não apenas as produções, construções de equipamentos, elaboração de cartazes foram analisados durante a aplicação. Constatase um retorno para a discussão do que é proposto inicialmente no primeiro momento, ou seja, um retorno às questões iniciais assim como a proposição de novas questões que possam ser respondidas pela mesma conceituação científica abordada no segundo momento, na intenção de transcender o uso do conhecimento para outras situações que não apenas a inicial (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2012, p. 206).

Com as mudanças implementadas no “roteiro pedagógico” que deram origem aos 3MP, outras alterações foram sendo incorporadas ao longo do tempo por meio de outros projetos como “Ensino de Ciências a Partir de Problemas da Comunidade” (PERNAMBUCO, 1983), desenvolvido a partir de 1984 no Rio Grande do Norte e o Projeto Interdisciplinar do município de São Paulo, também chamado Projeto “Interdisciplinaridade via Tema Gerador” ou Projeto Inter ocorrido no fim dos anos oitenta e início dos noventa (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2012). Desse modo, os 3MP teve seu emprego ampliado extrapolando a sua utilização inicial, não se restringindo a dinâmica de sala de aula, tornando-se estruturante de currículos, materiais didáticos e formação de professores. Atualmente, os Três Momentos Pedagógicos podem ser assim caracterizados:

- Problematização Inicial (PI); o professor apresenta neste momento, questões ou situações concretas vivenciadas pelos alunos e que estão relacionados com os temas a serem abordados. Essas questões e situações devem ser problematizadas, a fim de que os alunos se sintam desafiados expondo o que conhecem e pensam a respeito, de modo que o professor possa se apropriar desse conhecimento criando alternativas didáticas para os alunos superarem possíveis obstáculos no processo ensino-aprendizagem. A finalidade da problematização inicial é promover o distanciamento crítico do aluno de forma que se sintam desafiados, ao defrontarem com questionamentos que serão necessários outros conhecimentos que ainda não possuem.

- Organização do Conhecimento (OC); momento em que sob a mediação do professor o conhecimento sistematizado necessário a compreensão e aprofundamento do tema e da problematização inicial são estudados, de forma a auxiliar os alunos a responderem as questões e situações abordadas. Diversas alternativas didáticas podem ser empregadas de modo a facilitar a ruptura entre o conhecimento constituído e o conhecimento científico.

- Aplicação do Conhecimento (AC); ocasião que se aborda o conhecimento aprendido na situação de ensino, de maneira sistemática, permitindo aos estudantes analisar e interpretar as situações abordadas inicialmente e outras que mesmo não estando relacionadas com a

problematização inicial encontram esteio nos conhecimentos incorporados, ampliando sua visão de mundo, de modo que possam empregar o conhecimento organizado as situações práticas do dia a dia.

Delizoicov (2008 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014) ressalta que os 3MP não devem ser reduzidos meramente em uma estratégia didática para organização de aulas como pretexto para introduzir conceituações científicas por meio da problematização, estudando-as na organização do conhecimento e sendo aplicadas posteriormente na resolução de exercícios no terceiro momento. Tratando-se de uma dinâmica fundamentada nas concepções freirianas por intermédio da dialogicidade e problematização, é preciso sistematizar as situações significativas da vivência dos educandos que envolvam contradições, buscando problematizá-las para promover a conscientização e implementação de práticas anteriormente ausentes, um processo de “codificação-problematização-descodificação” (FREIRE, 2001).

Portanto, nesse processo o que se pretende é que o educador compreenda o significado atribuído pelo educando as situações abordadas, de forma que possa problematizá-las levando o estudante ao confronto com problemas que deverão ser assimilados por meio da interpretação de conhecimentos universais. Para Freire (FREIRE, 1996), ensinar exige criticidade e, para tanto, é necessário superar a curiosidade ingênua em direção à curiosidade epistemológica, isso é possível por meio da rigorosidade metódica, pois desafia os educandos a refletirem a respeito dos aspectos reais que os cercam, objetivando o afastamento do objeto estudado, de modo a compreendê-lo em sua essência, fomentando a atitude crítica diante da situação explorada.

A construção ou a produção do conhecimento do objeto implica o exercício da curiosidade epistemológica, sua capacidade crítica de tomar distância do objeto, de observá-lo, de delimitá-lo, de cindi-lo, de “cercar” o objeto ou fazer aproximações metódicas, sua capacidade de comparar, de perguntar (FREIRE, 1996, p. 85).

A Problematização Inicial (PI) propicia o primeiro passo para superar a curiosidade ingênua, logo o papel do educador não é dar respostas, mas instigar a curiosidade, despertar a dúvida, trazer inquietações e, mais profundamente, buscar a compreensão da percepção que o sujeito aprendiz possui da sua realidade concreta. Assim, os problemas apresentados na PI trazem situações relacionadas à concretude da vivência dos educandos, que ao se distanciarem percebem a limitação de conhecimentos e a necessidade de outros que ainda não possuem, configurando um obstáculo a ser superado (DELIZOICOV, 2001).

Na Organização do Conhecimento (OC) o professor é o mediador na construção de novos conhecimentos, ele não apresenta as respostas prontas aos problemas abordados, mas

junto com o educando vão construindo caminhos para enxergar e interpretar a ciência envolvida no fenômeno estudado, essa é uma parte importante no processo de decodificação, pois permite que o estudante vá além dos conceitos estudados em sala de aula, transpassando os conhecimentos para as situações vivenciadas na sua prática diária (DELIZOICOV, 2001).

A retomada das situações de ensino-aprendizagem se faz necessária para o desenvolvimento do sujeito crítico, sendo, portanto, realizada por meio do terceiro momento pedagógico na Aplicação do Conhecimento. Nesse momento, os conteúdos programáticos explorados são utilizados para responder aos problemas iniciais, bem como extrapola a situações mais globais, ampliando a visão de mundo do estudante, de modo que ele possa empregar o conhecimento organizado as situações práticas do dia a dia (DELIZOICOV, 2001).

Ao tratar dos 3MP, não é possível deixar de ressaltar a relevância do livro “Física” (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990) para o desenvolvimento e disseminação dessa dinâmica. O livro faz parte da Coleção Magistério – 2º grau, e teve sua primeira edição publicada em 1990. O mesmo propunha utilizar os Três Momentos Pedagógicos em sintonia com a abordagem temática e integrou o Programa de Melhoria e Expansão do Ensino Médio (MEC), o Programa Nacional Biblioteca do Professor (PNBP) e constou em editais de diversos concursos públicos para a carreira do magistério (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014).

O livro “Física” apresenta a temática central “Produção, distribuição e consumo de energia elétrica” como estruturante dos conhecimentos físicos e desenvolvimento das atividades, mesmo já apresentando uma temática central mantém-se em sintonia com a perspectiva curricular balizada pelas concepções freirianas (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014). Sendo voltado para estudantes de licenciatura em Física, pós-graduação e formação continuada de professores, trazendo uma proposta de abordagem para o ensino de Física na educação básica.

Apesar do tema escolhido pelos autores não ter o caráter do tema gerador proposto por Freire (2001), os mesmos ressaltam que ao longo do desenvolvimento das atividades do livro, é possível considerar os conhecimentos prévios dos alunos e elementos de suas vivências.

Propomos um programa oriundo de uma temática central: produção, distribuição e consumo de energia elétrica. O professor poderá seguir as indicações, roteiros e instruções para o desenvolvimento do seu curso sem, contudo, deixar de introduzir elementos que interessam ao seu grupo de alunos, determinados pelas condições locais e regionais onde estejam atuando. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 14)

Ainda assim, destaca-se a diferença na abordagem da PI em relação ao emprego dos 3MP nos projetos já mencionados anteriormente, no livro não se evidencia a situações significativas atreladas aos temas geradores, já que nos projetos anteriores isso era feito por

meio dialogicidade da investigação temática. Mesmo indicando a relevância de explorar o conhecimento do aluno sobre situações reais, não precisa critérios para determinar o que seria e quais seriam tais situações. Porém, os autores evidenciam que o processo para a seleção das situações é a sua conexão com o conteúdo, atrelado a temática central, a ser abordado. (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014).

Portanto a abordagem temática proposta pelo livro “Física” representa uma

[...] perspectiva curricular cuja lógica de organização é estruturada com base em temas com os quais são selecionados os conteúdos de ensino das disciplinas. Nessa abordagem, a conceituação científica da programação é subordinada ao tema”. (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p.189).

A dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos possibilita a inserção de instrumentos tecnológicos como balizador de discussões que podem abranger diferentes visões de fenômenos físicos levando em consideração a vivência dos estudantes, sendo possível, nessa direção, trabalhar com situações reais, propondo um processo investigativo que poderá gerar hipóteses e soluções conflitantes entre os alunos servindo como ponto de partida para a sistematização do conhecimento científico. Ademais, a problematização por meio da dialogicidade, envolve o educando trazendo contexto para os temas abordados revelando novas estratégias para resolução das questões propostas. Traz sentido e viabilidade ao objeto de estudo. Assim,

Os métodos da educação dialógica nos trazem à intimidade da sociedade, à razão de ser de cada objeto de estudo. Através do diálogo crítico sobre um texto ou um momento da sociedade, tentamos penetrá-lo, desvendá-lo, ver as razões pelas quais ele é como é, o contexto político e histórico em que se insere. Isto é para mim um ato de conhecimento e não uma mera transferência de conhecimento... (FREIRE, 1986, p. 24-25).

Na educação tradicional, como há o currículo formal a ser empregado e pouca flexibilidade a adaptações, o conceito de equipamentos geradores torna-se uma alternativa para desenvolver a temática a ser abordada dentro dos três momentos pedagógicos. Com a utilização de equipamentos geradores a possibilidade de desvinculação com a realidade é reduzida. O trato reflexivo desses aparatos proporciona uma prática dialógica, não centrada apenas no aspecto físico, por ser parte do contexto social do estudante proporciona a compreensão conceitual das teorias físicas (AUTH, 1995).

2.3 Estudos abordando os Três Momentos Pedagógicos

Para o desenvolvimento desta pesquisa realizamos uma revisão de literatura, direcionada ao ensino de Ciências, mais especificamente, o ensino de Física na temática da eletricidade, com o objetivo de identificar, avaliar e interpretar toda a pesquisa relevante, a fim de responder à questão referente ao uso da metodologia dos 3MP no ensino de Física na Educação Básica.

Para tanto, consideramos periódicos nacionais de versão on-line, da área de Ensino. A pesquisa focalizou artigos publicados nos seguintes periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF); Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF); Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia; Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências; Experiências em Ensino de Ciências (EENCI); Revista de Educação, Ciências e Matemática; Investigações em Ensino de Ciências (IENCI). O período para busca foi delimitado entre os anos de 2001 a 2019.

No primeiro momento, identificamos os trabalhos que apresentavam a palavra-chave “Três Momentos Pedagógicos”. Posteriormente, quando no título não identificávamos claramente a temática que se propunha a pesquisa vinculada à utilização dos 3MP no ensino de Física na temática da eletricidade na educação básica, procedíamos à leitura do resumo e/ou artigo completo desconsiderando os artigos que não propunham tal abordagem. Após a seleção dos artigos publicados, realizamos uma leitura criteriosa para averiguação dos mesmos, a fim de garantir sua pertinência com o tema pesquisado.

Dos artigos analisados publicados nos periódicos destacados anteriormente para o período considerado, somente três, de fato, abordavam a metodologia dos 3MP como proposta de ensino voltada ao conteúdo programático de Física na temática da eletricidade para Educação Básica (Quadro 1). Os resultados indicam uma carência de trabalhos desenvolvidos e aplicados no ensino médio. Porém, os artigos encontrados apresentam como a metodologia dos 3MP vem sendo abordada e discutida no ensino de Física na Educação Básica, trazendo indicativos de como pode ser implementada.

Quadro 1 - Identificação dos artigos selecionados que tratam da metodologia dos 3MP voltada ao ensino de Física na temática da eletricidade para Educação Básica, de acordo com os periódicos nacionais de versão on-line

Título	Autores	Ano	Tema/Conteúdo abordado	Periódico
Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade	Josué Antunes de Macêdo, Adriana Gomes Dickman, Isabela Silva Faleiro de Andrade.	2012	Eletricidade – Circuitos simples, imãs, corrente elétrica e indução eletromagnética.	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
Concepções de alunos da EJA sobre raios e fenômenos relacionados	Robenil dos Santos Almeida, Welington Cerqueira Júnior, Eider de Souza Silva.	2016	Eletricidade – Fenômenos associados à eletricidade atmosférica.	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
Interdisciplinaridade e os Três Momentos Pedagógicos no ensino de Física: Uma prática sobre a matriz energética brasileira.	Matheus Lincoln Borges dos Santos, Stefany Cris Pereira, Adriano Vaz de Andrade, Thais Rafaela Hilger, Álvaro Emilio Leite.	2018	Eletricidade – Conservação de energia e conceito de campo eletromagnético.	Experiências em Ensino de Ciências (EENCI)

Fonte: Autor (2020).

Os trabalhos selecionados e examinados destacam a metodologia dos 3MP como uma dinâmica didático-pedagógica que fornece subsídios para trabalhar com as experiências dos educandos favorecendo o processo dialógico. Assim, ao abordar temas do cotidiano dos alunos, é possível, por meio das problematizações, explorar conhecimentos e concepções já constituídas, no sentido de que seja possível estimular uma quebra de ruptura entre conhecimento do senso comum e conhecimento científico. Por conseguinte, exercita-se o pensamento crítico fomentando a imprescindibilidade de novos conhecimentos estruturados. Essa concepção vai ao encontro da proposta de Paulo Freire (1996) na direção de um ensino crítico e reflexivo, buscando o desenvolvimento da curiosidade epistemológica.

No trabalho de Almeida, Cerqueira Junior e Silva (2016), por exemplo, a abordagem dos 3MP é empregada para discutir a ciência por trás dos fenômenos atmosféricos com estudantes da Educação de Jovens e Adultos (EJA). Os autores, ao utilizarem como problematização inicial fenômenos atmosféricos relacionados à queda de raios, identificaram que algumas dificuldades apresentadas pelos alunos estão relacionadas a mitos e superstições

populares sem fundamentações, além de estimular a curiosidade dos estudantes por meio das discussões, a problematização favoreceu a elaboração de atividades que fossem possíveis à transição entre o conhecimento alternativo e os conhecimentos científicos.

Os autores ressaltam que há uma “carência muito grande de trabalhos que analisem e discutam concepções espontâneas sobre fenômenos associados aos raios. Isso evidencia a importância desse tipo de pesquisa para o ensino de ciências naturais” (ALMEIDA; CERQUEIRA JÚNIOR; SILVA, 2016, p. 523). A dinâmica dos 3MP promove o diálogo ativo em todas as etapas do processo possibilitando a identificação de concepções alternativas oriundas de superstições populares que não seriam possíveis apenas com a aplicação de questionários, trazendo novas perspectivas para o ensino de ciências naturais ao permitir a desconstrução de tais concepções, fazendo com que os alunos extrapolem o conhecimento aprendido a outras situações extraclasse. Denotando que os 3MP não se resumem apenas a uma estratégia didática de sala de aula.

O artigo de Macêdo, Dickman e Andrade (2012) traz para a organização do conhecimento simulações computacionais como ferramentas para estruturação dos conceitos básicos do eletromagnetismo. Por meio de ferramentas hipermediáticas, buscou-se trabalhar os conhecimentos de maneira a responder as questões da problematização inicial, bem como, estabelecer relações com fenômenos associados a artefatos tecnológicos, assim favorecendo a formação de sujeitos críticos e participativos que possam atuar para transformar suas realidades.

No desenvolvimento desse trabalho as atividades foram elaboradas de modo que os estudantes examinassem e compreendessem os impactos derivados do desenvolvimento tecnológico, como “os impactos sociais advindos das descobertas científicas e do desenvolvimento tecnológico, tal como os danos causados, bem como os benefícios decorrentes da construção de uma usina hidrelétrica”. (MACÊDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012, p. 578). Assim, ao desenvolver a proposta de ensino através dos 3MP, possibilitou aos alunos extrapolar os conhecimentos estruturados por intermédio da organização do conhecimento para outras situações, não necessariamente trabalhadas na problematização inicial, mas que, podem ser explicadas sob a ótica do mesmo conhecimento científico.

Os autores do trabalho Interdisciplinaridade e os Três Momentos Pedagógicos no ensino de Física (SANTOS; PEREIRA et al., 2018) partiram da problematização sobre a matriz energética brasileira e faturas de energias dos alunos para abordarem a conservação de energia e campo eletromagnético. Ao partir da utilização de um elemento constituinte da realidade dos alunos, a problematização gerou maior engajamento nas atividades, ressaltando o caráter dialógico desse momento. Os autores ressaltam que os alunos, por meio das aulas de física,

conseguiram construir uma reflexão interdisciplinar, na qual, para além dos conhecimentos da disciplina, discutiram temas ambientais, econômicos e políticos relacionados à matriz energética, colaborando com habilidades relacionadas ao pensamento crítico, comunicativas e familiaridade científico-tecnológica. Ainda, na ótica dos autores, a dinâmica empregada facilita a construção de uma prática interdisciplinar, já que foi possível abordar problemas complexos que demandaram conhecimentos de várias áreas distintas.

Após a leitura e análise dos artigos, constatamos que os trabalhos mencionados utilizam de vários recursos didáticos para a concretização do desenvolvimento dos momentos pedagógicos, concluindo que a dinâmica favorece a efetivação do processo dialógico problematizador, bem como, fomenta o pensamento crítico e reflexivo, tornando-se uma prática na direção da curiosidade epistemológica defendida por Freire (1996).

3 ELETROMAGNETISMO

Os fenômenos elétricos e magnéticos sempre atraíram a curiosidade do homem e compreender a relação entre ambos foi uma das revoluções do mundo moderno. Esses fenômenos foram considerados independentes até Oersted mostrar, em 1820, que em torno de um fio percorrido por corrente elétrica surge um campo magnético. Esse fato desencadeou o estudo da eletricidade e do magnetismo como partes de uma mesma teoria, a teoria eletromagnética, a qual é responsável pelo desenvolvimento de toda tecnologia de comunicação e informação conhecidas atualmente.

No cotidiano de uma grande parcela da população, muitos equipamentos são utilizados para facilitar a realização das atividades diárias. Como exemplo é possível citar o liquidificador, a máquina de costura, a máquina de lavar, a furadeira, o ventilador, atualmente, o carro elétrico, dentre outros. Mas o que há em comum entre eles? A resposta é: motores. A maioria dos equipamentos usados no dia a dia, dos menores aos maiores, possuem motores elétricos na base do seu funcionamento.

Além disso, um motor pode funcionar como um gerador. No motor, a corrente elétrica produz o movimento do rotor e no gerador, o movimento do rotor induz corrente elétrica. É o que acontece, por exemplo, no dínamo da bicicleta ou nas turbinas geradoras de eletricidade ou, ainda, nos motores dos carros elétricos.

Neste capítulo, com o objetivo de entender o princípio de funcionamento dos motores e geradores elétricos, vamos estudar alguns aspectos dos campos elétricos e magnéticos, mostrando como um campo elétrico variando no tempo ou uma corrente elétrica podem ser fontes de campo magnético (Lei de Ampère), assim como, a variação do fluxo do campo magnético pode induzir um campo elétrico (Lei de Faraday) e como essa teoria está aplicada nos motores e geradores elétricos. É importante frisar que o objetivo desse capítulo é fazer uma apresentação de algumas grandezas eletromagnéticas conectadas ao trabalho proposto nesta dissertação. Uma discussão mais aprofundada, sugerimos consultar outras referências, como por exemplo, Machado (2006) e Correia (2014).

3.1 Equações de Maxwell

O estudo do eletromagnetismo pode ser sintetizado por meio de algumas equações, chamadas de Equações de Maxwell, as quais descrevem as propriedades e as interações dos campos elétricos e magnéticos. Para o objetivo deste trabalho, focaremos nossa atenção em

duas delas (discutidas em mais detalhes nas seções seguintes), no entanto é relevante que todas sejam apresentadas, ainda que de maneira qualitativa.

Um breve contexto sobre o que era conhecido antes de Maxwell propor a sua teoria, passa pela compreensão de carga e corrente elétrica por meio dos trabalhos de Benjamin Franklin e Alessandro Volta, no século XVIII, que resultou no trabalho de Charles Coulomb mostrando que a intensidade da força elétrica varia inversamente proporcional com o quadrado da distância entre as cargas. Essa lei foi mais tarde generalizada pelo trabalho de Poisson e Gauss e é o princípio físico de umas das equações de Maxwell (TURNBULL, 2013).

No século XIX, Oersted já tinha mostrado que a passagem de corrente elétrica por um fio pode defletir uma agulha magnética, sugerindo que a corrente elétrica pode gerar fenômenos magnéticos. Ampère, inspirado por esse trabalho, observou que dois fios paralelos percorridos por correntes elétricas no mesmo sentido eram atraídos entre si e em sentidos opostos, eram repelidos. Enquanto Biot e Savat mostraram, no mesmo período, que essa força diminui com o inverso da distância entre os fios. Além disso, os experimentos de Michael Faraday tinham revelado que a mudança do fluxo magnético, devido a uma variação da corrente elétrica em circuito, poderia induzir corrente elétrica em outro circuito próximo (TURNBULL, 2013).

Sob essas influências, Maxwell publica, entre 1855 e 1873, uma série de artigos nos quais desenvolve a sua teoria eletromagnética. Nesse período já existia uma teoria que conectava as descobertas de Ampère e Faraday, porém ela apresentava algumas falhas, e Maxwell acreditava existir mais de uma maneira de ver a eletricidade (ABRANTES, 1988).

Inicialmente, Maxwell utiliza-se de analogias com meios mecânicos para descrever o que ele chamou “meio magneto-elétrico” e assim explicar todos os fenômenos eletromagnéticos conhecidos até então. Foi ele quem introduziu a ideia de “deslocamento elétrico” em meios dielétricos, no qual a polarização do meio é gerada pelo deslocamento de suas partículas sob a ação de um campo elétrico. Esse deslocamento é diferente das correntes elétricas nos meios condutores, embora ambos produzam efeitos eletromagnéticos idênticos. E como consequência mais importante, Maxwell supões que a luz é uma onda eletromagnética (ABRANTES, 1988) conseguindo, dessa maneira, desenvolver a teoria eletromagnética da luz.

Em notação moderna, as Equações de Maxwell são apresentadas a seguir, escritas na forma integral (CORREIA, 2014), para a situação macroscópica, em que os meios podem ser polarizáveis e magnetizáveis.

$$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{A} = \iiint_V \rho dV \quad (\text{Lei de Gauss}) \quad (1)$$

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (\text{Lei de Gauss para o magnetismo}) \quad (2)$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (\text{Lei de indução de Faraday}) \quad (3)$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{A} \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \quad (4)$$

sendo:

\vec{E} o vetor campo elétrico;

\vec{D} o vetor deslocamento elétrico;

\vec{B} o vetor indução magnética*;

\vec{H} o vetor campo magnético*¹;

ρ a densidade volumétrica de carga elétrica;

\vec{J} o vetor densidade superficial de corrente elétrica de condução;

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ a corrente elétrica de deslocamento.

Antes da discussão sobre o significado dessas equações, serão apresentados os campos deslocamento elétrico \vec{D} e campo magnético \vec{H} e como eles se relacionam com os campos elétrico \vec{E} e de indução magnética \vec{B} , respectivamente.

O vetor deslocamento elétrico \vec{D} depende do vetor campo elétrico por meio da relação

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (5)$$

em que ε_0 é a permissividade elétrica no vácuo e \vec{P} é o vetor polarização elétrica do meio.

O vetor polarização elétrica surge nos meios dielétricos (isolante) devido a presença de um campo elétrico externo \vec{E}_0 . A aplicação do campo elétrico produz um deslocamento das cargas positivas na direção do campo e das cargas negativas no sentido contrário, de maneira que o momento de dipolo elétrico local (intrínseco ou induzido) de cada molécula apontará na direção de \vec{E}_0 , tornando o material polarizado, como mostra a figura 3.1(b) e gerando um campo

¹ *Existe uma discussão a respeito da nomenclatura do vetor \vec{B} , alguns autores preferem chamá-lo vetor indução magnética e outros, vetor campo magnético. Nesta seção, para distingui-lo do vetor \vec{H} , usaremos a primeira denominação. Porém, no restante do texto, por questão de facilidade em associar a outras referências usaremos \vec{B} como sendo campo magnético.

elétrico interno induzido \vec{E}_{ind} , de menor valor e sentido contrário ao campo elétrico externo, figura 3.1(c). Observe que a presença do dielétrico diminui o campo elétrico resultante aplicado.

O momento de dipolo criado pelo campo elétrico pode ser entendido como a resposta de cada molécula ao campo aplicado.

Assumindo um volume V do material, de maneira que seja suficientemente pequeno para ser tratado como infinitesimal do ponto de vista macroscópico, mas grande o suficiente para conter vários momentos de dipolo microscópico, uma medida conveniente desse efeito é a polarização elétrica

$$\vec{P} \equiv \text{momento de dipolo por unidade de volume.}$$

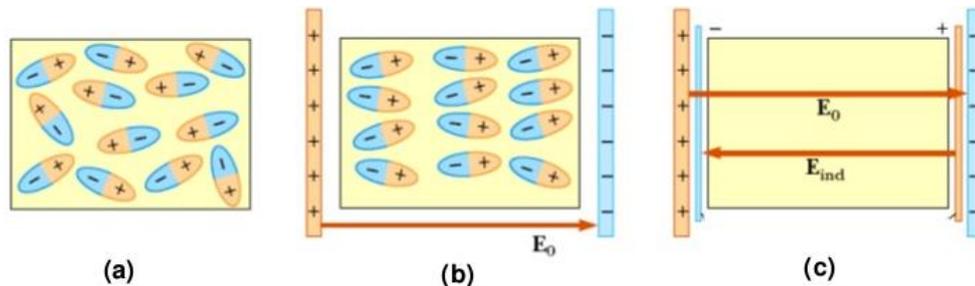


Figura 3.1 – (a) Em um meio isolante, na ausência de campo elétrico, as moléculas estão orientadas aleatoriamente. (b) Na presença de um campo elétrica E_0 , as moléculas são orientadas. (c) Um campo elétrico induzido E_{ind} é criado no sentido oposto ao campo externo. Isso torna o campo total no meio seja menor do que o campo externo.

Fonte: www.fisicaatual.com.br²

Note que o deslocamento elétrico não é a mesma coisa que campo elétrico. A unidade de medida do vetor deslocamento elétrico é a mesma do vetor polarização, C/m^2 .

Quando o meio for o vácuo, a polarização é nula, logo $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$. Para um meio dielétrico linear, homogêneo e isotrópico, com resposta instantânea às variações no campo elétrico, \vec{P} depende linearmente do campo elétrico e pode ser escrito como

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E} \quad (6)$$

onde χ é a susceptibilidade elétrica do material. Assim, o deslocamento elétrico assume a forma

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \epsilon \vec{E} \quad (7)$$

em que $\epsilon = \epsilon_0 (1 + \chi)$ é a permissividade elétrica do meio.

² Disponível em: <https://image.slidesharecdn.com/capacitorsite-110610072037-phpapp01/95/capacitor-site-11-728.jpg?cb=1307690496>. Acesso em abr. 2020.

Ao fazer uma análise equivalente para o comportamento do campo magnético em um material magnético, temos que o vetor campo magnético \vec{H} relaciona-se com o vetor indução magnética \vec{B} por meio da relação

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (8)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo e \vec{M} é a magnetização do meio.

Ao examinar um material magnético em escala atômica, elétrons são detectados orbitando em volta dos núcleos e girando no próprio eixo, formando minúsculas correntes que para o interesse macroscópico, podem ser tratadas como dipolos magnéticos. Quando um campo magnético é aplicado sobre esse material, ocorre o alinhamento desses dipolos magnéticos e o meio torna-se magneticamente polarizado, ou magnetizado. Assim, a grandeza magnetização \vec{M} é definida como o momento de dipolo magnético por unidade de volume e tem papel análogo à polarização na eletrostática.

Para meios lineares podemos escrever a magnetização em função do vetor campo magnético e da suscetibilidade magnética do meio χ_m , assim

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad (9)$$

E, portanto, o vetor indução magnético assume a forma

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H} \quad (10)$$

em que

$$\mu \equiv \mu_0(1 + \chi_m)$$

μ é a chamada permeabilidade do material. No vácuo, onde não há matéria para magnetizar, a suscetibilidade χ_m é zero e a permeabilidade é μ_0 .

Uma vez introduzidas as grandezas vetor deslocamento elétrico e o vetor campo magnético, a seguir será discutido o significado das Equações de Maxwell.

A equação 1 é a lei de Gauss para a eletrostática, ela estabelece que para uma superfície fechada S que envolva um conjunto de cargas, o campo elétrico é proporcional a essa densidade de cargas contida no volume V definido pela superfície S .

Para compreendê-la intuitivamente, vamos considerar o caso sem cargas polarizadas, no vácuo. O fluxo do campo elétrico Φ_E é a quantidade de campo elétrico \vec{E} que atravessa uma superfície fechada S de área A dado por:

$$\Phi_E = \oiint \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (11)$$

A resolução dessa integral para uma distribuição de carga de densidade ρ no vácuo é

$$\Phi_E = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho dV \quad (12)$$

e mostra que o fluxo do campo elétrico depende apenas da densidade de carga dentro da superfície, para mais detalhes ver (MACHADO, 2007, p. 183). Dessa maneira, é possível afirmar que a carga elétrica constitui a fonte de campo elétrico (ver figura 3.2). Essa relação é válida para qualquer superfície S , porém ela é mais fácil de ser usada em situações onde a distribuição de carga apresenta alguma simetria.

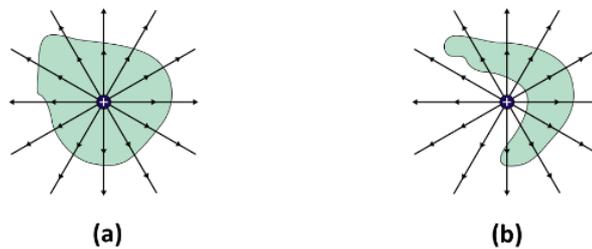


Figura 3.2 – (a) Linhas de campo elétrico que atravessam a superfície S , mostrando que existe o fluxo de campo elétrico através da superfície. (b) A mesma quantidade de linhas de campo elétrico que entra na superfície também sai da superfície, portanto o fluxo de campo elétrico sobre a superfície é nulo.

Fonte: PNGWING³

Vale ressaltar que em um meio dielétrico existem as cargas livres (consideradas cargas reais ou efetivas) calculadas como

$$Q_{ef} = \iiint_V \rho dV \quad (13)$$

e as cargas ligas (ou carga de polarização) dada por

$$Q_P = - \oiint_S \vec{P} \cdot d\vec{A} \quad (14)$$

³ Disponível em: <https://www.pngwing.com/pt/free-png-zrras>. Acesso em abr. 2020.

Então o fluxo do campo elétrico para essa situação será dado por

$$\Phi_E = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho \, dV - \frac{1}{\epsilon_0} \oiint_S \vec{P} \cdot d\vec{A} \quad (15)$$

Reorganizando e usando a equação (5)

$$\begin{aligned} \epsilon_0 \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} + \oiint_S \vec{P} \cdot d\vec{A} &= \iiint_V \rho \, dV \\ \epsilon_0 \oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{A} &= \iiint_V \rho \, dV \end{aligned} \quad (16)$$

Que constitui a primeira lei de Maxwell para um meio dielétrico, mostrada na equação (1).

A equação (2) é o equivalente análogo da lei de Gauss para o magnetismo. Ela mostra que o fluxo do vetor indução magnética Φ_B para uma superfície fechada S é nulo. Isso indica que não há carga magnética isolada, ou seja, as linhas de campo magnético são fechadas, como mostrado na figura 3.3.

$$\Phi_B = \oiint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (17)$$

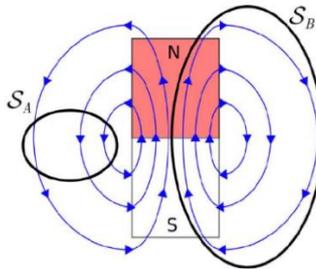


Figura 3.3 – Representação das linhas do vetor indução magnética para um ímã em barra. As linhas saem pelo polo norte e entram pelo polo sul, de maneira que para qualquer superfície escolhida, o número de linhas que sai da superfície é igual ao número que entra, indicando que o fluxo do vetor indução magnética para essa superfície é nulo.

Fonte: Mundim (2001)⁴

A equação 3 é a Lei de Faraday. Ela mostra que quando o fluxo da indução magnética sofre uma variação no tempo isso induz a circulação de campo elétrico ao longo de um caminho C . Esse resultado é interessante, pois mostra que o campo elétrico pode ser gerado por uma

⁴ MUNDIM, Kleber C. **Fluxo Magnético e a Lei de Gauss**. 2001. Disponível em: <http://ensinoadistancia.pro.br/EaD/Eletromagnetismo/LeiGauss-B/LeiGauss-B.html>. Acesso em abr. 2020.

carga elétrica, como foi discutido na lei de Gauss para eletrostática, ou pela variação do fluxo do vetor indução magnética, ou seja, possui natureza distinta em cada uma das situações apresentadas (MACHADO, 2002, p. 561-562). Na seção 3.6 esses conceitos serão novamente discutidos.

A equação 4 é a Lei de Ampère-Maxwell. Ela mostra que a circulação do campo magnético ao longo de uma linha de força fechada C é proporcional à intensidade da corrente elétrica que atravessa a curva ou à variação do campo elétrico, ou seja, o campo magnético pode ser gerado por uma corrente elétrica ou pela variação do campo elétrico. Mostrando assim que existe relação entre os campos elétricos e magnéticos, de modo que a variação de um pode gerar o outro campo. Essa lei será mais discutida na seção 3.2.

Uma vez feita uma apresentação geral das Equações de Maxwell, a seguir vamos mostrar como a descoberta de uma conexão entre os fenômenos elétricos e magnéticos foram relevantes para o desenvolvimento dos motores e geradores.

3.2 Corrente elétrica e campo magnético

A natureza dos fenômenos elétricos e magnéticos atraiu o interesse de muitos filósofos naturais no século XVIII. Para melhor investigar tais fenômenos, muitos experimentos e instrumentos foram desenvolvidos (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004). A priori esses fenômenos não pareciam ter nenhuma relação, porém alguns eventos davam indícios do oposto como, por exemplo, o fato de peças metálicas serem magnetizadas ao cair um raio sobre elas ou ocorrer mudança na orientação das bússolas quando um raio caía próximo das mesmas (CHAIB; ASSIS, 2007). Fatos que sugeriam uma conexão entre magnetismo e eletricidade.

Uma das evidências mais relevantes da relação entre o magnetismo e o movimento de cargas elétricas foi obtida pelo cientista Hans Christian Oersted (1777-1851), por meio de um experimento que é descrito por Chaib e Assis (2007, p. 42) da seguinte maneira: “Oersted colocou um fio metálico paralelo a uma agulha magnética que estava orientada ao longo do meridiano magnético terrestre. Ao passar uma corrente elétrica constante pelo fio observou que a agulha era defletida de sua direção original”, como mostrado na figura 3.4.

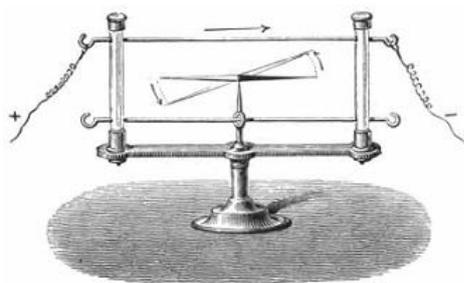


Figura 3.4 - Experimento de Oersted – Uma bússola situada abaixo do fio condutor. A agulha da bússola gira quando uma corrente elétrica passa pelo fio, indicando que um campo magnético surge com a passagem da corrente.

Fonte: López (2016)⁵

Inicialmente, os resultados obtidos por Oersted causaram muitas descrenças, as quais só foram desfeitas após algumas reproduções do seu experimento pela academia. Estava então verificada que as interações elétricas e magnéticas eram relacionadas. O trabalho de Oersted foi publicado em 1820 (CHAIB; ASSIS, 2007).

O campo magnético produzido pelo movimento de cargas elétricas deu origem ao que hoje é conhecido como eletroímã. A intensidade do eletroímã depende da intensidade da corrente e do número de espiras que ele contém. Assim eletroímãs suficientemente potentes podem ser produzidos e utilizados para erguer grandes massas, nos transportes por levitação, nos aceleradores de partículas, nos aparelhos de ressonância magnética, entre outros (HEWITT, 2002). Dois exemplos da aplicação dos eletroímãs são apresentados na Figura 3.5.

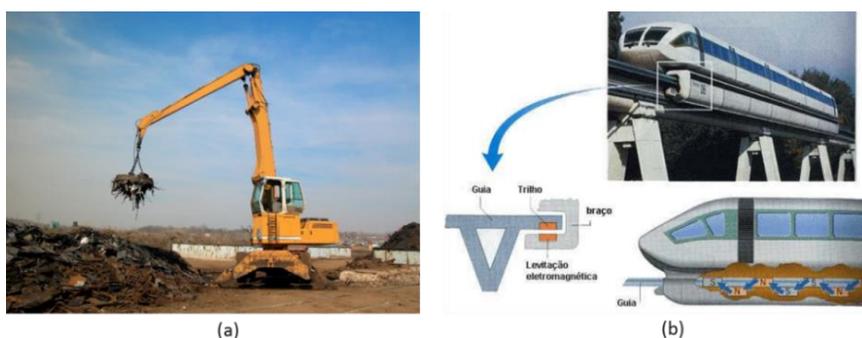


Figura 3.5 - Exemplos do uso de eletroímãs. A corrente elétrica quando percorre uma bobina é capaz de gerar um campo magnético. (a) Eletroímã usado para separação de material ferromagnético. (b) Eletroímã usado em trem bala faz com que o veículo flutue e assim diminua o atrito com os trilhos.

Fonte: Figura adaptada pelo autor (2020)⁶

⁵ LÓPEZ, César Tomé. Las corrientes eléctricas actúan sobre los imanes. **Caderno de Cultura Científica**, 2016. Disponível em: <https://culturacientifica.com/2016/05/10/las-corrientes-electricas-actuan-los-imanes/>. Acesso em jan. 2020.

⁶ (a) QUEVEDO, Renata Tomaz. Separação magnética. **InfoEscola**, 2016. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/separacao-magnetica/>. Acesso em jan. 2020. (b) Levitação magnética. Disponível em: www.geocities.ws/salafisica7/funciona/levitacao.html. Acesso em jan. 2020.

Sendo o campo magnético uma grandeza vetorial, para defini-lo completamente é necessário determinar o seu valor, a sua direção e o seu sentido. Para calcular o módulo do campo magnético $d\vec{B}$ produzido no ponto P por um elemento de corrente $i d\vec{l}$ (Figura 3.6) usa-se a lei de Biot-Savart, a qual é baseada em observações experimentais.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}, \quad (18)$$

em que $d\vec{l}$ é o vetor de comprimento dl que possui o mesmo sentido da corrente que flui no fio, \hat{r} é o vetor unitário e μ_0 é a constante do meio chamada permeabilidade magnética, cujo valor, por definição, para o vácuo é dado por $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T}\cdot\text{m/A}$.

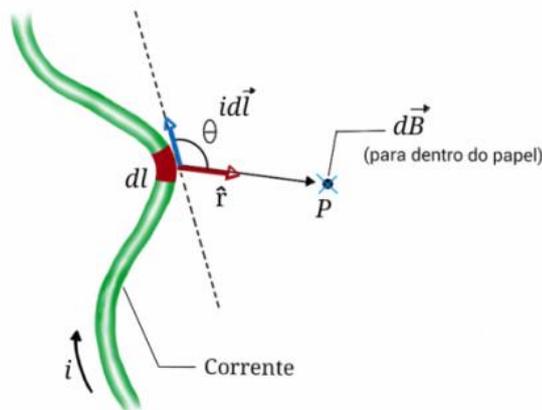


Figura 3.6 - Elemento de corrente produz um elemento de campo magnético no ponto P para dentro do papel.

Fonte: O autor (2020).

A direção e o sentido do campo são obtidos pela regra do produto vetorial, mas como simplificação, sabemos que a direção do campo magnético será sempre perpendicular ao plano que contem a reta que une o elemento de comprimento $d\vec{l}$ e o vetor unitário \hat{r} e o sentido pode ser encontrado usando a regra da mão direita n° 01 a qual diz que segurando o fio com a mão direita e polegar apontando no sentido da corrente, os outros dedos mostram a orientação das linhas do campo magnético produzidas pela corrente no fio, conforme pode ser visto na figura 3.7 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

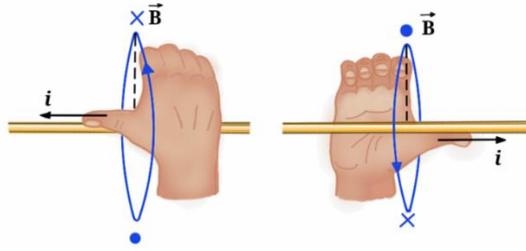


Figura 3.7 - Regra da mão direita n° 01 usada para determinar o sentido das linhas de campo magnético gerada pela corrente elétrica. Segurando o fio com a mão direita, aponta-se o polegar na direção e sentido da corrente, os outros dedos indicam o sentido do campo magnético.

Fonte: O autor (2020).

Pela lei de Biot-Savart é possível observar que o módulo do campo magnético gerado pela passagem de corrente elétrica é proporcional à intensidade da mesma e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o fio e o ponto onde se deseja medir o campo, o que nos sugere uma analogia com o módulo do campo elétrico eletrostático.

Uma maneira mais prática para determinar o campo magnético \vec{B} produzido por uma distribuição de correntes \vec{J} no vácuo é por meio da chamada lei de Ampère, ver equação (19), em que o campo magnético pode ser obtido a partir da integral de linha de uma região em torno da corrente.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} \quad (19)$$

O trabalho de Ampère foi independente do trabalho de Biot e Savart, além de possuir princípios diferentes. Enquanto o segundo descreve a força exercida por um elemento de corrente sobre um polo magnético, o primeiro descreve uma força com ação à distância entre os elementos de corrente de dois fios pertencentes a circuitos diferentes (CHAIB; ASSIS, 2007). Embora os trabalhos sejam distintos, eles fornecem os mesmos resultados (SANTOS; GARDELLI, 2017).

É importante destacar que o conceito de campo magnético usado na relação (18) não foi introduzido por Biot, Savart ou Ampère (CHAIB; ASSIS, 2007). Bem como a equação (19) não foi proposta por Ampère, mas sim pelo próprio Maxwell a partir do estudo dos trabalhos de Ampère. Algum tempo depois, Maxwell precisou acrescentar mais um termo à equação (19) para que ela pudesse satisfazer a lei da conservação de cargas para o caso de densidade de carga variável.

Para entender a origem da correção feita por Maxwell à lei de Ampère, vamos analisar o que acontece durante a carga ou descarga de um capacitor de placas planas paralelas, cujo meio entre as placas é o vácuo (ver figura 3.8).

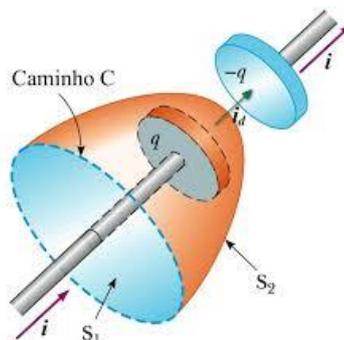


Figura 3.8 – Capacitor de placas planas paralelas. A superfície S_1 é o círculo delimitado pelo caminho C que atravessa o fio por onde passa uma corrente elétrica, gerando um campo magnético não nulo. A superfície S_2 passa no espaço vazio entre as placas do capacitor e não corta nenhum fio de ligação, logo o campo magnético é nulo. Para as suas superfícies o contorno C é o mesmo, o que mostra uma inconsistência física.

Fonte: Lima (2012)⁷

Observe na figura 3.8, quando a equação (13) é aplicada para a superfície S_1 , que é cortada pelo fio de ligação do capacitor, a circulação do campo magnético tem um valor não-nulo, resultado esperado para um fio percorrido por uma corrente elétrica, que deve gerar um campo magnético em torno dele. Porém a situação muda quando consideramos a superfície S_2 . Note que essa superfície não é atravessada por nenhuma corrente, já que o capacitor não está danificado ou em curto-circuito, logo a circulação do campo magnético é nula. No entanto, para um mesmo contorno C , espera-se que obter o mesmo valor para \vec{B} , independente da superfície escolhida.

Essa contradição surge pelo fato de na segunda situação, a carga está acumulando no capacitor, ou seja, a corrente não é estacionária e, portanto, não era prevista pela lei de Ampère escrita em (13). O problema foi resolvido por Maxwell introduzindo teoricamente, um termo que leva em consideração a variação do campo elétrico no tempo devido ao acúmulo de carga no capacitor, que foi chamado por ele de corrente de deslocamento.

Para obter a corrente de deslocamento, partimos da lei de conservação local da carga ou lei da continuidade, a qual diz que se a carga total em um determinado volume se altera no tempo, então essa quantidade de carga deve ser igual ao fluxo de corrente passando através da superfície desse volume. Matematicamente, escrita como:

⁷ LIMA, Marcos. Eletromagnetismo. **Capítulo 10:** Equações de Maxwell. Departamento de Física-Matemática USP, 2012. Disponível em http://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292_2012/Cap10.pdf. Acesso em abr. 2020.

$$\iiint_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = - \oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (20)$$

Combinando a equação (1) para o vácuo ($\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$) com a equação (20) e sendo a derivada temporal independente das derivadas espaciais, chegamos em

$$\begin{aligned} \oiint_S \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{A} &= - \oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{A} \\ \oiint_S \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{A} &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Em que $i_T = \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ é a densidade total de corrente do sistema, dada pela soma da densidade de corrente real \vec{j} (formada por portadores de carga e mensurável por um amperímetro) com a densidade de corrente de deslocamento $\vec{j}_D = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ (associada com campos elétrico variáveis no tempo). Esse último, foi o termo introduzido por Maxwell para corrigir a lei de Ampère, levando à equação

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{A} + \mu_0 \epsilon_0 \iint_S \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (22)$$

Voltando ao problema do capacitor, a lei de Ampère na forma escrita acima é válida para qualquer superfície S. Se a superfície é S₁, existe uma corrente real formada por portadores de carga em movimento, cujo valor é $i = \iint_{S_1} \vec{j} \cdot d\vec{A}$ e $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = 0$. Se a superfície considerada é S₂, não há corrente real, pois não há movimento de portadores de carga através de S₂, logo $i = \iint_{S_2} \vec{j} \cdot d\vec{A} = 0$. Porém essa superfície é atravessada por um campo elétrico variável no tempo, já que há acúmulo de carga elétrica no capacitor, e tem-se, portanto, uma corrente de deslocamento, e o uso da lei de Ampère-Maxwell torna consistente com os resultados obtidos para a superfície S₁.

Para um meio dielétrico a equação (22) leva em consideração ainda a magnetização e a polarização do meio e assume a forma mostrada na equação (4).

3.3 Força magnética

Pelo que foi discutido na seção anterior, é possível concluir que existem duas formas básicas para obter um campo magnético. A primeira é com um ímã permanente e a segunda forma tem a ver com o campo criado por uma corrente elétrica (cargas em movimento). Mas independente da origem do campo magnético criado, o fato é que quando uma carga elétrica se move nesse campo, ela sofrerá um desvio, experimentando a ação de uma força de origem magnética, ver Figura 3.9.

A força magnética atinge um valor máximo quando a partícula carregada eletricamente q está se movendo, com velocidade v , perpendicularmente às linhas do campo magnético e tornará nula quando a mesma se mover paralelamente às linhas de campo. Esse resultado pode ser expresso pela Lei de Lorentz:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (23)$$

ou seja, a força \vec{F} que age sobre a partícula é igual ao módulo da carga elétrica q multiplicada pelo produto vetorial da velocidade \vec{v} pelo campo \vec{B} (medidos no mesmo referencial). Note que somente haverá força magnética se a carga elétrica estiver em movimento e em uma direção diferente das linhas de campo.

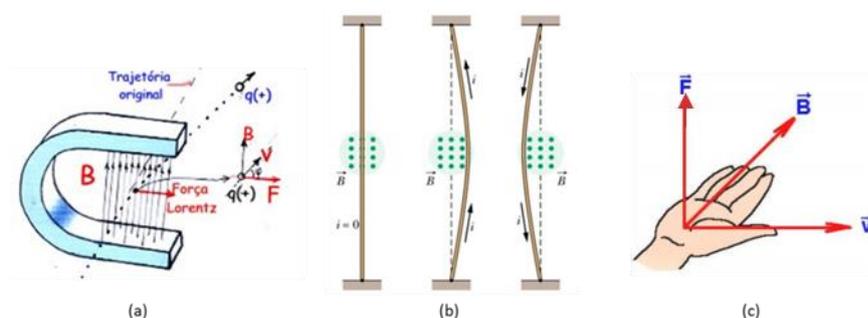


Figura 3.9 - (a) Partícula carregada sofre desvio ao passar pelo campo magnético, indicando a ação de uma força magnética. (b) Fio condutor quando na presença de um campo magnético também sofre a ação de uma força de origem magnética, cujo sentido depende do sentido da corrente. (c) Esquema que ilustra a regra da mão direita n° 02, usada para determinar a direção e o sentido da força magnética. Para carga positiva, o polegar aponta no sentido da velocidade, os outros dedos apontam no sentido do campo magnético e a palma da mão indica a direção e sentido da força. Para carga negativa, segue-se o mesmo procedimento descrito, mas o sentido da força é oposto ao mostrado pela regra da mão direita n° 02.

Fonte: Figura adaptada pelo autor (2020)⁸

⁸(a) Força magnética s/carga elétrica. **Show de Física**, s.d. Disponível em:

http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/For%C3%A7a%20magn%C3%A9tica.htm. Acesso em jan. 2020

(b) HEWITT (2002).

A equação (23) também fornece a orientação da força magnética. A direção da força será sempre perpendicular às linhas de campo magnético e à velocidade da partícula carregada (ver Figura 3.9(a)). O sentido será encontrado pela regra da mão direita nº 02, a qual estabelece que o polegar da mão direita aponta na direção da velocidade, os outros dedos apontam no sentido do campo e a palma da mão indica o sentido da força, como mostra a Figura 3.9(c). Se a carga for positiva a força tem o mesmo sinal do produto $\vec{v} \times \vec{B}$ e, portanto, aponta no sentido indicado pela regra; se a carga for negativa, a força e o produto vetorial possuem sinais contrários, logo a força terá o sentido oposto ao obtido pela regra apresentada.

Pelo que foi exposto e sendo a corrente elétrica um conjunto de partículas em movimento, então quando a mesma atravessar um fio condutor na presença de um campo magnético (um ímã, por exemplo), esse sofrerá a ação de uma força de origem magnética que provocará um desvio como ilustrado na Figura 3.9(b). Dessa maneira, pode-se concluir que da mesma forma que um fio conduzindo uma corrente desvia a agulha de uma bússola (experiência de Oersted), um ímã desvia um fio percorrido por uma corrente elétrica.

Conforme afirma Hewitt (2012), a descoberta das conexões complementares entre a eletricidade e o magnetismo gerou grande excitação, e quase que imediatamente as pessoas começaram a utilizar a força magnética com fins práticos, como aumentar a força produzida por motores elétricos.

3.4 Motor elétrico

Motores elétricos desempenham um papel importante na sociedade contemporânea. Boa parte do trabalho do mundo é realizada por eles. Trata-se de máquinas que convertem energia elétrica em energia mecânica, usando, para isso, o fato de corrente elétrica gerar campo magnético, o que constitui uma aplicação prática da experiência de Oersted.

Como exemplo, vamos estudar um tipo simples de motor de corrente contínua, indicado na Figura 3.10. A parte móvel do motor é chamada de rotor, trata-se de uma espira que pode girar em torno de um eixo e possui extremidades abertas ligadas a dois contatos. As extremidades dos fios do rotor são ligadas a dois segmentos condutores, que formam um comutador. Cada um dos dois segmentos dos comutadores entra em contato com uma escova, ligada a um circuito externo que inclui uma fonte. Isso produz uma corrente que entra no rotor

(c) GOMES, Douglas. **A força magnética sobre uma carga elétrica em movimento dentro de um campo magnético NUNCA realiza trabalho.** Como vejo o mundo, a Física..., 2010. Disponível em: http://idelfranio.blogspot.com/2010/09/0121-forca-magnetica-sobre-uma-carga_18.html Acesso em jan. 2020.

por um lado e sai pelo outro lado. O rotor está situado entre os polos de um ímã permanente (em motores maiores, usa-se eletroímãs), de modo que quando a corrente atravessa o campo magnético o mesmo exerce uma força sobre o rotor, fazendo o girar.

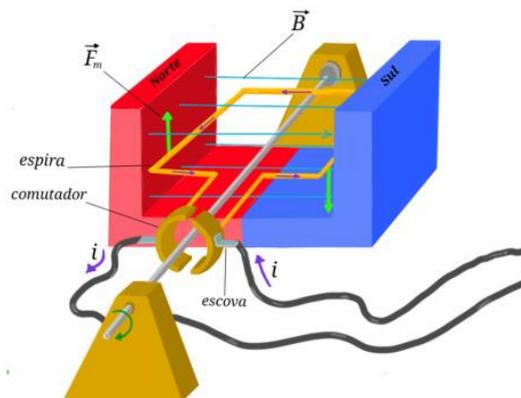


Figura 3.10: Esquema do motor elétrico simples. O rotor é uma espira de fio que pode girar livremente no interior do campo magnético; nas extremidades do rotor estão os comutadores que quando em contato com as escovas transmite corrente elétrica, fazendo o rotor girar. Entre os comutadores existe um material isolante que não permite a passagem de corrente.

Fonte: O autor (2020).

Quando a corrente atravessa o campo magnético, surge a força magnética que provoca um giro do rotor de 90° quando então a corrente é interrompida, pois as duas escovas ficam em contato com ambas as partes isolantes dos comutadores. Nessa situação a força magnética é igual a zero, mas em virtude da inércia, o rotor completa um giro de 180° . Agora a corrente entra pelo lado oposto do comutador. Embora a corrente esteja circulando em sentido contrário em relação aos comutadores, a rotação possui o mesmo sentido, mantendo o motor girando de maneira contínua.

Em motores reais, o rotor apresenta muitas espiras, de maneira a produzir um torque maior. Outra maneira de aumentar o torque é usando um campo magnético mais forte, por isso muitos motores são projetados com eletroímãs em vez de ímãs permanentes. É importante notar que para esse motor iniciar o movimento é necessário um estímulo externo.

3.5 Indução eletromagnética

Nas seções anteriores discutimos o fato de que uma corrente elétrica produz um campo magnético, isso representou uma grande descoberta, possibilitando o desenvolvimento de muitos dispositivos. Agora, nesta seção, vamos apresentar outra descoberta tão importante

quanto a primeira: Um campo magnético pode produzir uma corrente elétrica. Essa ligação entre um campo magnético e o campo elétrico induzido é chamada de indução eletromagnética.

A indução eletromagnética é responsável pelo funcionamento de diversos equipamentos que mudaram a vida moderna, são equipamentos que vão desde a invenção da guitarra elétrica, passando pelos detectores de metal, cartão de crédito, radares de velocidade até a geração de energia elétrica e desenvolvimento de carros elétricos (HALLIDAY; RESNICK; WLATER, 2016; HEWITT, 2002). Sem contar os inúmeros equipamentos que utilizam motores de indução, que de acordo Silveira e Marques (2012) estão entre as dez maiores invenções de todos os tempos.

Até o século XVIII a principal fonte de produção de corrente elétrica eram as pilhas e baterias, o que limitava muito o seu uso. Por volta de 1831, Michael Faraday (e mais ou menos na mesma época, de maneira independente, Joseph Henry) descobriu que ao mover um ímã para o interior de uma espira de fio, uma corrente elétrica era induzida nela (ver figura 3.11 (a)). A indução de uma voltagem pela variação do campo magnético em espiras de fio é chamada de indução eletromagnética e deu início à era da eletricidade na sociedade industrial. Na próxima seção será feito um aprofundamento do fenômeno.



Figura 3.11: (a) Esquema que ilustra o experimento realizado por Faraday. Ao aproximar (ou afastar) o ímã de uma bobina, uma corrente elétrica é induzida. (b) Aplicação da indução eletromagnética no dínamo de bicicleta para acender uma luz de sinalização.

Fonte: Figura adaptada pelo autor (2020)⁹

Quanto maior for o número de espiras de fio que se movem no campo, maior a voltagem induzida, porém mais difícil fica executar esse movimento. A razão para isso é que a voltagem induzida faz circular uma corrente que gera um campo magnético contrário ao que lhe deu

⁹ (a) TECNOLOGIA. **Experimento de Faraday.** Disponível em: <https://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>. Acesso em jan. 2020.

(b) SÁNCHEZ, Rufino. **Dinamos y motores.** Disponível em: <http://lacarpetaderufino.blogspot.com/2016/05/dinamo.html>. Acesso em jan. 2020.

origem, portanto quanto maior o número de espiras, maior a corrente induzida maior o campo magnético criado. Isso é importante para manter a conservação da energia. Quanto mais espiras mais voltagem e, também, mais trabalho precisa ser realizado para movimentá-la.

3.6 Lei de Faraday

O princípio central da indução eletromagnética é a chamada lei de Faraday. Essa lei relaciona a diferença de potencial elétrico induzida ε (também chamada força eletromotriz fem) à variação do fluxo do campo magnético em qualquer tipo de circuito. Matematicamente representado por

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (24)$$

em que ε é a força eletromotriz (fem) ou voltagem induzida, Φ_B é o fluxo do campo magnético que atravessa a espira dado pela equação (11) e o sinal negativo indica que a força eletromotriz induzida se opõe à variação desse fluxo (lei de Lenz).

A diferença de potencial induzida é responsável por gerar um campo elétrico que, nesse caso, não é eletrostático, que por sua vez gera uma corrente induzida. A fem é dada pela circulação do campo elétrico em uma curva fechada C,

$$\varepsilon = -\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (25)$$

Combinando as equações (11), (24) e (25) chegamos a relação

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Que é a lei de Faraday expressa na equação (3).

Observe que o fluxo do campo magnético corresponde ao número de linhas de campo que atravessa a área A e a força eletromotriz induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético e não do fluxo em si. Se esse for constante, não existe fem induzida. Dessa maneira, há três formas de obter uma corrente elétrica induzida:

1. Mudar o módulo B do campo magnético (mudar números de linhas de campo)
2. Mudar a área atravessada pelo campo magnético (mudar tamanho da bobina)

3. Mudar o ângulo entre a direção do campo magnético e o plano da bobina (girar a bobina), como mostrada na figura 3.12.

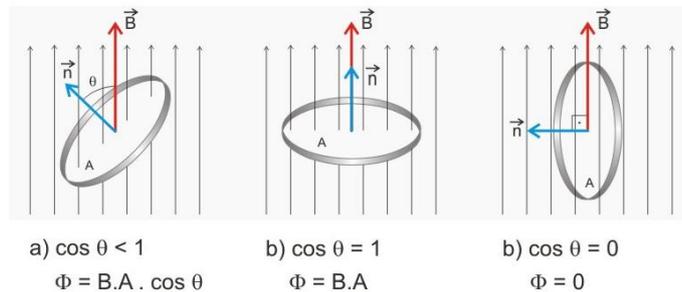


Figura 3.12 - O fluxo do campo magnético mede o número de linhas de indução que atravessa a área A de uma espira imersa no campo magnético. A mudança na direção da área da espira influencia na variação desse fluxo.

Fonte: Ferraro (2015) ¹⁰

3.7 Geradores

Como discutido na seção 3.5, quando um ímã é movimentado rapidamente dentro de uma bobina, uma corrente elétrica é induzida na bobina. O mesmo fenômeno pode ser observado se ao invés de movimentar o ímã, movimentar a bobina, por exemplo, girando a bobina dentro de um campo magnético.

Sabendo disso e conhecendo o princípio de funcionamento dos motores, discutido na seção 3.4, imagine o que aconteceria se com o mesmo arranjo do motor fosse usada uma fonte externa para movimentar a bobina (ver figura 3.13). Esse arranjo produziria uma corrente elétrica e, portanto, ele se comportaria como um gerador de corrente elétrica.

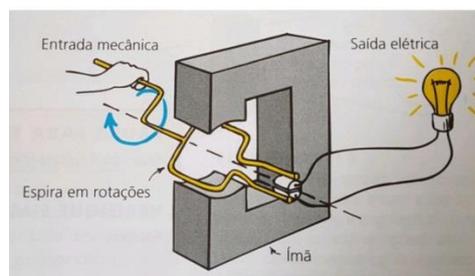


Figura 3.13 - Esquema básico de um gerador. A voltagem é induzida na espira quando ela é girada dentro do campo magnético do ímã.

Fonte: Hewitt, 2002

¹⁰ FERRARO, Nicolau Gilberto. 30ª aula - Terceiro fenômeno eletromagnético. **Interpretação física.** Os Fundamentos da Física, 2015. Disponível em: http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2015/10/cursos-do-blog-eletricidade_21.html. Acesso jan. 2020.

Em princípio, a construção do motor e do gerador é idêntica, a mudança ocorre com os papéis da saída e entrada. No motor há conversão de energia elétrica (corrente elétrica) em energia mecânica (movimento do rotor); num gerador há conversão de energia mecânica (movimento da bobina) em energia elétrica (corrente elétrica).

A reciprocidade entre motores e geradores pode ser demonstrada usando-se dois “motores” idênticos do tipo com ímã permanente, com suas bobinas conectadas por dois fios de cobre. Quando a haste de um deles é girada mecanicamente, ele se torna um gerador e movimenta o outro como motor. Se a haste do segundo é girada, é ele que se torna um gerador e movimenta o primeiro como motor. (...) motores e geradores são equivalentes (FEYNMAN, 2008, p. 16-3).

Uma aplicação da relação descrita acima pode ser encontrada nos carros híbridos. Esses carros funcionam com dois tipos motores: um elétrico e outro a combustão. O motor a combustão atua, sobretudo, quando há alta demanda de potência ou torque - situação de aclives e alta velocidade, por exemplo. Enquanto o motor elétrico é responsável por tirar o carro do repouso e pelas situações de baixa demanda (quando o carro está com velocidade constante) (ORÉFICE; CABRAL, 2019).

O motor elétrico, durante o movimento do veículo, recebe energia das baterias (energia elétrica) e converte em movimento (energia mecânica). Porém, em situação de frenagem ou velocidade constante, o movimento é aproveitado pelo motor para recarregar as baterias, nesse momento, o motor se comporta como gerador elétrico, transformando a energia mecânica em energia elétrica que recarrega as baterias, que por sua vez será utilizada no movimento. Desta maneira, os carros híbridos necessitam de menos combustível e são menos poluentes, tornando o seu uso mais viável. A intenção é que essa tecnologia evolua de modo a se ter carros totalmente elétricos.

Nos veículos elétricos, o motor empregado, em grande parte, é do tipo trifásico de corrente alternada, não possui limite mínimo de rotação o que permite a eliminação da embreagem, proporcionando uma manutenção mais simplificada com a diminuição de atrito e, conseqüentemente, menor lubrificação em relação aos motores a combustão. Além de que quando comparado ao motor a combustão, consegue entregar maior torque a uma mesma velocidade (OLIVEIRA, 2005).

A primeira barreira para tornar o automóvel elétrico acessível a toda população é o custo elevado para sua produção e, por conseguinte, o preço final para o consumidor. Uma das justificativas para esse custo são os materiais empregados para produzir o sistema elétrico, motores com ímãs permanentes de terras raras e as baterias que são constituídas de minerais

não renováveis como é o caso do lítio, a grande limitação tecnológica e econômica desse tipo de motorização. Ademais, outra questão limitante para expansão dos veículos elétricos é a matriz energética que precisa ser redimensionada para suprir essa nova demanda, não ocasionando assim apagões devido à sobrecarga da rede elétrica gerada pela recarga das baterias dos veículos.

Ainda assim, os veículos elétricos já são uma realidade sem volta, sua maior eficiência em termos energéticos, ambientais e um amplo mercado tem despertado o interesse em vários âmbitos de pesquisa, visto que há obstáculos nessa tecnologia que precisam ser superados. Como estudos que utilizam um sistema elétrico que conjuga a bateria com supercapacitores, assim, reduz o tamanho da mesma e, ao mesmo tempo, permite maior capacidade de armazenamento e rapidez de recarga, o que reflete na maior autonomia e desempenho do veículo.

4 METODOLOGIA

4.1 Estudo de caso

O estudo apresentado é derivado de uma pesquisa qualitativa do tipo estudo de caso. De acordo Lüdke e André (1986) na execução de uma pesquisa é necessário promover a confrontação entre o conhecimento teórico construído a respeito do tema abordado e os dados, evidências e informações coletadas durante a mesma.

O estudo qualitativo ou naturalístico, segundo Lüdke e André (1986, p. 14) “é o que se desenvolve numa situação natural, é rico em dados descritivos, tem plano aberto e flexível e focaliza a realidade de forma complexa e contextualizada”. Dentre as várias formas que podem assumir a linha qualitativa, há o estudo de caso, que entre as características fundamentais destacam-se:

1 – Os estudos de caso visam à descoberta. 2 – Os estudos de caso enfatizam a ‘interpretação em contexto’. 3 – Os estudos de caso buscam retratar a realidade de forma completa e profunda. 4 – Os estudos de caso usam uma variedade de fontes de informação. 5 – Os estudos de caso revelam experiência vicária e permitem generalizações naturalísticas. 6 – Estudos de caso procuram representar os diferentes e às vezes conflitantes pontos de vista presentes numa situação social. 7 – Os relatos de estudo de caso utilizam uma linguagem e uma forma mais acessível do que os outros relatórios de pesquisa (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 21-23).

Para a análise dos dados coletados buscamos aprofundar as discussões teóricas do estudo pesquisado destacando nos elementos levantados os aspectos relevantes encontrados. Para Lüdke e André somente a categorização não exaure a análise dos dados, as autoras ressaltam:

É preciso que o pesquisador vá além, ultrapasse a mera descrição, buscando realmente acrescentar algo à discussão já existente sobre o assunto, ultrapassando os dados, tentando estabelecer conexões e relações que possibilitam a proposição de novas explicações e interpretações. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 58).

4.2 Lócus e sujeitos da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no Colégio Estadual Professor José Batista da Mota, localizado na Rua Antônio Alfredo de Souza Filho, 200, Centro, Macaúbas-Bahia. É um Colégio de pequeno porte com sete salas de aula, sendo uma improvisada em local de pequeno espaço onde funcionava o laboratório de informática, faz divisa com o CETEP, Colégio

Estadual de Educação Profissional, e oferece ensino médio regular presencial, além de possuir polos de EMITEC (Ensino Médio com Intermediação Tecnológica) vinculados.

O público estudantil é composto por jovens e adolescentes, pois o turno noturno que atendia a necessidade dos estudantes adultos devido à jornada de trabalho foi desativado. Deste público, há alunos provenientes da área urbana e rural do município, a grande maioria busca concluir a educação básica no intuito de prestar processo seletivo para ingressar no ensino superior, outros almejam acessar diretamente o mercado de trabalho por meio de cursos técnicos e profissionais.

O Colégio conta com um Professor Licenciado em Física que é o autor desse trabalho. O mesmo atua com carga horária de vinte horas semanais, lecionando Física para três turmas da segunda série do turno matutino e quatro turmas da terceira série, sendo duas turmas no turno matutino e duas no vespertino. O professor dispõe para cada turma uma carga horária semanal durante o ano letivo de duas horas aulas o equivalente a cem minutos.

A situação de ensino pesquisada foi desenvolvida e implementada nas terças-feiras no turno vespertino entre setembro e outubro do ano de 2018, com 30 educandos da terceira série do ensino médio. A turma escolhida nos permitiu explorar a vivência dos estudantes por meio dos equipamentos geradores selecionados, visto que, a maioria dos estudantes tinha certa familiaridade com os mesmos, por conta da relação de trabalho dos familiares. Logo, não pretendemos com a população estudada refletir o perfil da totalidade das turmas da terceira série do ensino médio do país.

4.3 Instrumentos para a produção de dados

No percurso da abordagem metodológica utilizamos alguns instrumentos para a produção de dados que ancoram as interpretações das observações realizadas, permitindo reflexões mais concisas acerca da prática pedagógica, além de auxiliar a análise interpretativa dos dados coletados estabelecendo conexões e relações em torno dos objetivos de pesquisa.

O diário de bordo foi um dos instrumentos empregados para registro das observações. Ao final de cada aula as impressões, reflexões, potencialidades, limitações e dificuldades sobre as atividades desenvolvidas foram anotadas, bem como a postura dos alunos, o relacionamento entre eles e o professor, a interação ao longo das ações desenvolvidas, os destaques de falas coincidentes e fatos inéditos. O resultado foi quatro diários ricos em informações constituindo-se uma ferramenta significativa para nossa análise, pois é uma forma de “distanciamento”

reflexivo que nos permite ver em perspectiva nosso modo particular de atuar. É, além disso, uma forma de aprender (ZABALZA, 2004, p. 10).

Outro recurso utilizado foi a gravação em áudio e registro fotográfico das aulas desenvolvidas. Os áudios foram captados sempre do início ao fim de cada etapa utilizando um gravador posicionado no centro da sala, pretendendo perceber as nuances nas falas dos estudantes sugestivas a potencialidades e dificuldades no percurso pedagógico, bem como atentar-se para os diálogos entre educador e educandos que tragam evidências que validem as ações desenvolvidas.

Além desses instrumentos foram feitas análise das atividades didáticas realizadas pelos educandos sobre os conteúdos abordados. As atividades objetivaram verificar as potencialidades e limitações do emprego de equipamentos geradores articulados aos três momentos pedagógicos no ensino do eletromagnetismo, assim como a eficácia da sequência didática para o processo de ensino-aprendizagem.

4.4 Descrição da proposta

Desenvolvemos e aplicamos a Sequência Didática (SD) a partir dos equipamentos geradores estruturada nos Três Momentos Pedagógicos em oito aulas entre setembro e outubro de 2018. Utilizamos estratégias pedagógicas variadas com atividades teóricas, práticas, reprodução de experimento histórico, vídeo e hipermídia.

As atividades desenvolvidas na situação de ensino tinham por finalidade explorar os conhecimentos prévios dos educandos, ao mesmo tempo, por meio da prática dialógico-problematizadora discutir e estruturar os conceitos envolvendo o eletromagnetismo e as relações que permeiam o tripé Física, Tecnologia e Sociedade (FTS).

A sequência foi planejada para ser executada em quatro momentos, cada um correspondente à duas aulas de cinquenta minutos. Apresentamos abaixo um quadro (Quadro 1) com o resumo das atividades desenvolvidas, objetivos e o material empregado em cada momento: consequentemente

Quadro 2: Resumo da sequência didática aplicada

Momentos	Objetivos	Atividades	Atividades dos alunos	Material didático
Primeiro 2 aulas (100min)	Abordar e conhecer a vivência de mundo dos estudantes em torno da temática.	Apresentação da problemática com apresentação de tirinhas em quadrinhos, equipamentos elétricos e discussão de ideias gerais.	Grande grupo (todos os alunos)	Kit multimídia Dínamo Motor elétrico
	Conhecer os componentes principais de um motor elétrico e de um dínamo.	Formação de grupos de trabalhos Desmonte de dínamos e motores	Grupos de 5 alunos para desmonte dos equipamentos e posterior anotações dos elementos que compõem os aparatos.	Motores elétricos; Dínamo Alicates Chaves de fenda
	Dialogar e discutir sobre impressões e ideais a partir do texto, dos elementos que compõem o motor e dínamo e as implicações do desenvolvimento tecnológico sobre as relações sociais.	Distribuição de texto “o motor elétrico” revista superinteressante.	Grupo de cinco alunos leitura de texto e anotações das ideias apresentadas. Grande grupo	Texto
Segundo 2 aulas (100min)	Compreender a relação entre a interação do campo magnético de um Ímã e um fio percorrido por uma corrente elétrica.	Problematização sobre o tema e Orientação sobre utilização do Phet no smartphone	Grande grupo interação com simulação da Lei de Faraday.	Smartphone
		Reprodução moderna dos procedimentos e observações de Oersted com materiais de baixo custo.	Em grandes grupos de 10 alunos reprodução de experimento e anotações das observações.	Materiais para experimento
		Orientação de leitura de texto do livro didático	Individualmente leitura de texto	Livro didático
		Discussão sobre as ideias do texto e observações sobre o experimento	Grande grupo	Anotações sobre o experimento
		Exposição da relação entre corrente elétrica em um fio condutor e campo magnético	Grande grupo	Kit multimídia Quadro branco e piloto
		Distribuição de lista	Individualmente	Lista

Momentos	Objetivos	Atividades	Atividades dos alunos	Material didático
Terceiro 2 aulas (100min)	Compreender a Lei de Faraday-Lenz	Retomada da simulação do Phet da Lei de Faraday demonstrando graficamente as linhas de campo.	Interação com a simulação utilizando as linhas de campo grupos de seis alunos	Smartphone
		Distribuição de materiais e orientação para produção de um arquetipo da hipermódia	Em grupo de cinco alunos reproduzirem o arquetipo da hipermódia e anotar as impressões observadas da prática.	Fios Ímas Leds
		Mobilização dos alunos para discussão sobre as anotações e impressões da realização prática da simulação	Grande grupo	Anotações
		Explanação sobre corrente induzida e a Lei de Faraday-Lenz	Grande grupo	Kit multimídia Quadro branco e piloto
		Discussão e resolução questão 72 da prova azul do ENEM e posterior apresentação de vídeo sobre motor de indução	Individual Grande grupo	Kit multimídia
Quarto 2 aulas (100min)	Aplicar os conceitos trabalhados nas etapas anteriores	Apresentar vídeo sobre terras raras e o carro elétrico	Grande grupo	Kit multimídia
		Mobilizar os alunos para discussão sobre o vídeo e contextualização com os conteúdos abordados nas etapas anteriores e orientar produção de um protótipo rudimentar do funcionamento de motor elétrico.	Grande grupo Grupo de cinco alunos reproduzir o funcionamento rudimentar de motores elétricos	Projektor Quadro branco e piloto Fios Ímas Pilhas Elásticos
		Orientação para produção de uma dissertação sobre as discussões dos temas das etapas anteriores	Individual	Folha de redação

Fonte: Autor (2020).

1º Momento

Na problematização inicial, levantamos questionamentos a respeito dos motores e sua relevância nas mudanças culturais e sociais, por meio de uma tirinha em quadrinhos (Figura 4.1).



Figura 4.1- Tirinha em quadrinhos: a furadeira elétrica

Fonte: Autor (2018).

A tirinha da Figura 4.1 ilustra duas situações distintas, referentes a um instrumento manual e um elétrico, e propicia a discussão de teorias que possibilitaram o salto tecnológico e suas implicações. Momento que apresentamos questões problematizadoras levando os educandos a refletirem sobre seu conhecimento acerca do assunto. Algumas questões foram:

a) Estamos em um mundo em constante desenvolvimento tecnológico, manuseamos e operamos equipamentos elétricos corriqueiramente. Mas para que serve um motor elétrico e um dínamo? Quais são suas aplicabilidades?

b) Quais seriam as vantagens e desvantagens (se é que possuem) de um equipamento elétrico em relação a um equipamento manual? Como exemplo uma furadeira elétrica a uma furadeira manual?

c) Você consegue explicar como um motor elétrico funciona? E um dínamo? O que é preciso ter dentro de um motor para que ele funcione? E no dínamo? Você consegue imaginar viver sem essas tecnologias? Como seria?

Apresentamos em seguida os motores elétricos e os dínamos, que constituem os equipamentos geradores do processo de ensino-aprendizagem, levantamos hipóteses acerca dos componentes e do funcionamento de cada um. Mostramos o motor em pleno funcionamento e acoplamos uma manivela ao dínamo, Figura 4.2, para que os alunos, ao girá-la, pudessem acender um farolete.



Figura 4.2 - Apresentação do motor de indução e do dínamo

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Posteriormente os estudantes em grupos de cinco integrantes desmontaram o motor e o dínamo observando e anotando as diferenças entre os componentes constituintes de cada. Na sequência, na organização do conhecimento, eles realizaram a leitura em dupla de um texto da revista superinteressante “O motor elétrico”. No final, reunimos todos os estudantes em um grande círculo e cada um pode expor suas impressões sobre o texto lido e as atividades desenvolvidas durante a aula.

2º Momento

Iniciamos a aula problematizando sobre a relação entre uma espira de fio de cobre e o movimento de um ímã, com questões como: Como funciona uma bússola? O que ocorre quando aproximamos o ímã de uma bússola? Se ao invés do ímã fosse um fio percorrido por uma corrente elétrica? Como poderíamos relacionar essas situações?

Na organização do conhecimento foi solicitado aos educandos que utilizassem os *smartphones* para acessar uma simulação gráfica, um recurso de hipermídia, no site Phet¹¹ colorado (Lei de Faraday) (Figura 4.3) e interagissem com o ambiente virtual observando os aspectos que despertassem a curiosidade. Para tanto, por meio de projeção de slides apresentamos o endereço eletrônico da simulação por intermédio do qual os estudantes em duplas acessaram a mesma utilizando seus *smartphones*. Após o acesso orientamos que identificassem os objetos retratados e tentassem explicitar como estes estavam relacionados

¹¹ Phet (Physical Education Technology) – É A interface do Projeto de Simulações Interativas da Universidade do Colorado Boulder (EUA). O projeto foi fundado em 2002 pelo ganhador do Prêmio Nobel, o físico Carl Wieman. A interface oferece simulações interativas de matemática e ciências. As mesmas são escritas em Java, Flash ou HTML5, e podem ser executadas on-line ou copiadas para um computador. O programa funciona sob licença CC 3.0, Creative Commons, permitindo que seu conteúdo seja compartilhado, copiado e redistribuído de forma gratuita. (https://phet.colorado.edu/pt_BR/).

com o fenômeno observado. Por meio da hipermídia o educando pode estabelecer e, conforme suas predileções associações entre assuntos inter-relacionados e de forma ativa, ampliar sua visão sobre o tema estudado integrando novos conceitos em sua estrutura cognitiva (MACHADO; SANTOS, 2004, p. 83)

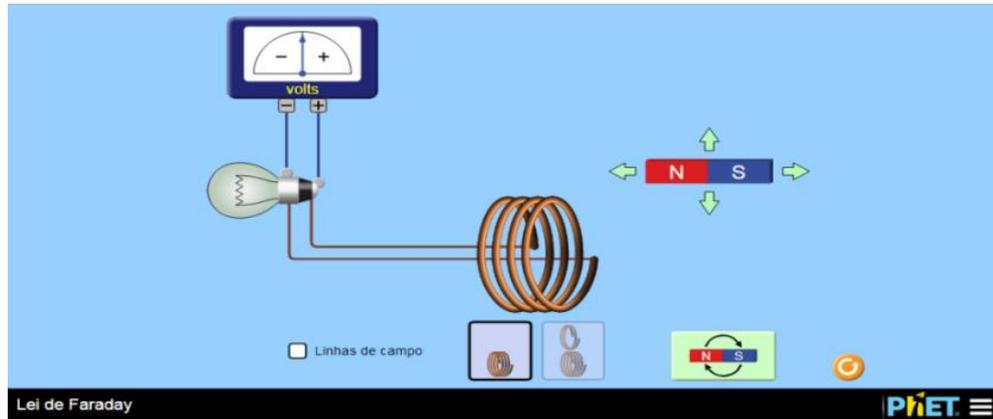


Figura 4.3 - Experimento virtual da lei de Faraday
Fonte: O autor (2018)

Depois da simulação, reproduzimos o experimento e as observações de Oersted (Figura 4.4), utilizando materiais de baixo custo. Os educandos foram divididos em grupos de 10 componentes, e cada grupo recebeu um *Kit* experimental para a realização do experimento.



Figura 4.4 - Reprodução moderna dos procedimentos e observações de Oersted
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Finalizada a reprodução do experimento foi proposto que os alunos fizessem a leitura de um texto do livro didático *Conexões com a Física* (SANT'ANNA; MARTINI, *et al.*, 2013): A experiência de Oersted: O efeito magnético da corrente elétrica. Realizada a leitura abrimos uma roda de conversa sobre as observações extraídas do experimento e do texto, trabalhando em seguida os conceitos da relação entre corrente elétrica e campo magnético por meio da exposição de slides (Apêndice).

Ao término do segundo momento, os estudantes individualmente responderam questões propostas do livro didático *Conexões com a Física*.

3º Momento

Os estudantes foram instruídos a utilizarem o *smartphone* para acessarem novamente a simulação do Phet (Lei de Faraday) (Figura 4.3) agora sendo orientados a inserirem as linhas de campo e observarem como esse novo elemento atua para a compreensão do fenômeno, e se relacionam com o experimento de Oersted.

Depois dessa nova experiência com a hiper mídia educacional, foram distribuídos para os alunos fio de cobre, led e ímã para que os mesmos tentassem produzir um arquétipo da simulação observada no *smartphone* de forma a utilizarem materiais concretos (Figura 4.5), organizados em grupos de cinco componentes. Essa atividade constituiu-se em uma atividade de demonstração que, segundo Ferreira (1978), ajuda a compreender as matérias nos cursos teóricos, desenvolvendo a capacidade de observação e reflexão dos alunos. Além do mais, objetivamos promover o maior número de interações em sala de aula, tanto entre os educandos, como entre educador e educandos, como entre educandos e o espaço escolar.



Figura 4.5 - Experimento feito pelo grupo 1
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Depois dessa atividade iniciamos a discussão, utilizando slides (Apêndice) como apoio, a respeito do conteúdo que dava sustentação teórica ao desenvolvimento das ações realizadas e abordamos a questão 72 da prova azul cobrada na prova do ENEM 2014 (Apêndice). Por fim, os estudantes foram orientados a fazerem uma pesquisa na internet, de modo a construir um motor simples aplicando e relacionando os conhecimentos estudados.

4º Momento

Na quarta etapa iniciamos a aula com a apresentação dos motores simples construídos pelos estudantes durante a semana (Figura 4.6), os motores foram desenvolvidos por equipes compostas por cinco alunos no total de seis grupos. Cada grupo contou com cinco minutos para apresentar o que foi desenvolvido na semana, as relações com os conteúdos estudados e os princípios físicos utilizados. Esta atividade também é considerada uma atividade de demonstração, pois são atividades feitas para ou pelo estudante, objetivando apresentar e explicar fenômenos físicos, priorizando a análise qualitativa (MONTEIRO, 2002).



Figura 4.6 - Experimento dos alunos
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Nesta etapa retomamos a problematização inicial de como funciona o motor elétrico, correlacionando-o com os saberes científicos estudados. Depois das apresentações foi aberta uma roda de discussões a respeito os trabalhos apresentados, sendo exibido também um vídeo acerca do motor de indução e um a respeito de terras raras e o carro elétrico, trazendo a discussão para o âmbito local, já que a região é rica em minério de terras raras e assolada pela extração mineral, contextualizando assim o conhecimento de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Finalizando o quarto momento foi proposto aos alunos a produção de uma dissertação que contemplasse os aspectos sobre ciência e tecnologia abordados no decurso das aulas, fechando a AC de AC. Os estudantes foram orientados a produzirem um texto dissertativo argumentativo de no mínimo 15 e no máximo 30 linhas, a atividade proposta foi realizada individualmente. Cada educando, pode utilizar os materiais trabalhados durante a sequência de aula. Objetivo principal da atividade foi estimular a argumentação crítica dos discentes

correlacionando o desenvolvimento científico e tecnológico, em especial o desenvolvimento do carro elétrico, com os conhecimentos desenvolvidos durante as atividades e as discussões realizadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentamos as observações acerca das atividades realizadas durante a aplicação da sequência didática, resultados e dados analisados durante o desenvolvimento da nossa pesquisa, tendo como ancora o objetivo deste estudo: Analisar o potencial de uma sequência didática envolvendo equipamentos geradores e os três momentos pedagógicos para o ensino do eletromagnetismo considerando os conhecimentos de Ciência e Tecnologia, em uma perspectiva dialógico-problematizadora. Discutimos os resultados sob a compreensão da curiosidade epistemológica (FREIRE, 1996), diálogo problematizador (FREIRE, 1996) e da cultura científica e tecnológica (BAZIN, 1998) destacando as potencialidades de equipamentos geradores como proposta de ensino acerca do eletromagnetismo articulados aos três momentos pedagógicos, evidenciando discussões a respeito das principais constatações da nossa pesquisa.

Ao término das ações em sala de aula, organizamos todos os dados obtidos e exploramos exaustivamente todos os detalhes, refletimos sobre os mesmos e o percurso didático-metodológico, buscando responder à questão problema da pesquisa, ao tempo que validamos a sequência didática desenvolvida e executada. Como resultado produzimos material didático-pedagógico estruturado na concepção de equipamentos geradores e dos 3MP que constitui o produto educacional produzido.

No primeiro momento, com a utilização dos equipamentos geradores na Problematização Inicial (PI), verificamos que a apresentação e discussão da tirinha em quadrinhos e dos equipamentos elétricos oportunizaram aos estudantes superarem o conhecimento de senso comum por meio da rigorosidade metódica agregando aspectos da Ciência e Tecnologia (C&T) na ruptura da curiosidade ingênua para a curiosidade epistemológica (FREIRE, 1996). Para além dos conhecimentos da física, relações entre bobinas e ímãs, explorarmos a realidade dos estudantes com suas perspectivas e vivência tornando perceptível a influência cultural e social no processo de ensino-aprendizagem.

Como exemplo, destacamos a fala de alguns estudantes:

Quadro 3 – Transcrição das falas dos estudantes (gravadas em áudio durante as aulas)

E₁ “Os motores facilitam o trabalho, minha mãe tem uma máquina de costura nova com motor elétrico e outra de pé, com motor elétrico ela costura muito mais rápido!”.

E₂ “O dínamo usa em bicicleta para acender o farol, mas hoje usa mais lanterna de led”.

E₃ “Meu tio tem uma bicicleta com dínamo, é antiga”.

E₄ “É uma puia! Meu avô tem uma, ele usa pra furar cerca de curral na roça onde não tem energia”.

E₅ “Lá em casa tem furadeira, meu pai usa no serviço dele (...) ele é pedreiro”.

E₆ “(...) A furadeira é melhor, mas onde meu avô mora mesmo, não tem energia, a luz é querosene ou gás (...) usa geladeira a gás também, pra ele só serve a puia mesmo”.

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Podemos constatar nesses registros indícios de que os estudantes demonstraram possuir conhecimento prévio denotando perceberem as relações de evolução tecnológica e da sua importância no processo produtivo, constatado na fala do estudante **E₁**, ao apontar a maior produtividade e eficiência com inserção de equipamentos mais modernos. Já a fala do estudante **E₆** deixa implícito a percepção das diferenças sociais na aquisição e utilização dos aparelhos.

A transcrição da fala do estudante **E₁** traz ainda, de maneira subjacente, a evidência da influência cultural na economia e produção local, já que o contexto apontado pelo mesmo para falar sobre o motor elétrico está relacionado com o fato de sua mãe ser costureira e utilizar desse objeto para aumentar a produtividade do seu trabalho, em especial no período junino, quando acontece o tradicional festejo de São João e o concurso de Quadrilha entre escolas, aumentando a demanda por confecções de vestimentas. No mês de junho o comércio local adquire maior pujança crescendo a necessidade por produtos e serviços, favorecendo inclusive os trabalhadores autônomos.

Na atividade de manuseio e desmonte dos equipamentos tecnológicos, destacamos o manejo reflexivo e atento aos elementos constituintes e suas funções para o funcionamento dos aparelhos. Os objetos tecnológicos trouxeram a realidade efetiva em que os educandos estão inseridos para o ambiente de sala de aula, tendo uma função pedagógica de propiciar a compreensão de situações/fenômenos vinculados às teorias físicas (BASTOS, 1990). Destaque para o diálogo de um grupo:

Quadro 4 - Transcrição das falas dos estudantes (gravadas em áudio durante as aulas)

E₁ “Esse motor é igual a da máquina de minha mãe, quando ela usa muito, cheira queimado, esquenta muito!”.

E₅ “Já vi meu pai desmontando a furadeira dele, tem um monte de fio enrolado dentro dela”.

E₈ “Desenrosca esses dois parafusos e bate nesse eixo que sai a parte da frete do motor”.

E₉ “Tem um monte de fio fino enrolado mesmo, essa parte de ferro serve para que? Pensei que tivesse um ímã”.

E₁ “Não sei, mas deve ser por isso que esquenta com esse monte de fio enrolado”.

E₇ “A energia deve passar por eles, mas como faz o eixo girar? (...) no dínamo tem um ímã preso no eixo e também tem fios finos enrolados, só que é diferente daqui...”

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Constatamos, na fala dos educandos, que os objetos da interação são reconhecidos e associados com o cotidiano, porém de manuseio tantas vezes óbvio, corriqueiro, que nunca realizaram uma reflexão sistemática de como funcionam, foram fabricados ou se relacionam com o que é estudando na escola. Segundo Bazin (1998, p. 30), “Eles fazem parte do nosso dia-a-dia sem fazer parte do nosso conhecimento”. Portanto percebe-se na atividade, apesar do reconhecimento dos artefatos, uma limitação nos conhecimentos para compreender os fenômenos associados ao funcionamento dos mesmos. Isso permitiu transformar os aparatos tecnológicos em equipamentos geradores explorando-os dentro dos 3MP, pois estreitamos as concepções freirianas problematizando sobre os aparatos, promovendo um distanciamento crítico do sujeito aprendiz, fomentando na OC sob a orientação do professor, a estruturação dos conhecimentos de física necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial.

No segundo momento foi possível observar a predisposição para superar a curiosidade ingênua por meio da reprodução do experimento de Oersted quando os estudantes conseguiram perceber sem muitas explicações que algumas das hipóteses levantadas não eram válidas e rapidamente já chegavam a novas conclusões alinhado o aprendizado do senso comum com as teorias científicas. Podemos verificar a evolução do entendimento científico no diálogo entre uma estudante e o professor, anterior e posterior à realização do experimento, quando na problematização do funcionamento da bússola a mesma afirmava:

Quadro 5 - Transcrição do diálogo do Professor com a estudante (gravadas em áudio durante as aulas)

P “Como a bússola funciona, alguém saberia explicar?”.

E “A bússola se orienta pelo sol, depende da posição em relação a ele”.

P “Não compreendi, como seria isso?”.

E “É como aprendi na escola quando era criança, a professora (...) falou que para saber onde fica o sul e o norte, aponta o braço direito pra onde o sol nasce e o esquerdo onde o sol entra, na frente seria o norte e atrás o sul!”.

P “E qual seria a relação entre isso e a bússola?”.

E “Ah, professor... a bússola usa o sol pra definir o norte e sul, não sei direito como funciona, mas acho que é assim”.

Fonte: pesquisa do autor, 2018

Posteriormente depois da reprodução do experimento de Oersted, a mesma estudante percebe que sua compreensão estava equivocada e pelas suas próprias observações consegue evoluir o seu entendimento do fenômeno relacionado à bússola e constata:

Quadro 6 - Transcrição do diálogo do Professor com a estudante, gravadas em áudio durante as aulas

E “A bússola é atraída pelo ímã, a terra é um grande ímã, Professor! (...)”.

P “Como seria isso?”.

E “O ímã tem um polo norte e um polo sul, o norte atrai sul da bússola e sul o norte, a terra também tem norte e sul que atraem a bússola, agora tô entendendo quando estudamos em geografia”.

P “Mas precisamos tomar cuidado com relação ao norte e sul geográfico, pois estamos trabalhando com norte e sul magnéticos”.

E “Sim, sim, sim... entendi agora (...) e na experiência que fizemos quando ligamos o fio na pilha o ponteiro da bússola muda de posição, parecendo quando está próximo do ímã, o fio age igual ímã também, né!? Isso tem a ver com os fios dentro do motor também?”.

Fonte: pesquisa do autor, 2018

Na transcrição do diálogo acima, Quadro 6, observamos a evolução na compreensão da estudante concernente ao fenômeno relacionado ao funcionamento da bússola, aspectos contraditórios foram mais bem compreendidos no sentido de uma ação transformadora e ensejaram correlações com as atividades que envolveram os equipamentos geradores, propiciando a educando e educador o desafio pela busca do conhecimento alinhado aos pressupostos dos 3MP, caracterizando este momento como organização do conhecimento. Com relação ao intuito progressista da proposta educacional Freire (1996) nos diz:

Numa perspectiva progressista o que devo fazer é experimentar a unidade dinâmica entre o ensino do conteúdo e o ensino de que é e de como apreender. É ensinando matemática que ensino também como aprender e como ensinar, como exercer a curiosidade epistemológica indispensável à produção do conhecimento (p. 141).

Na situação descrita, evidenciamos o que Bachelard (1977) ressalta, é preciso se aprofundar na psicologia do erro, pois “obstáculos pedagógicos” dificultam o pensamento

científico do estudante, sendo preciso não negligenciar os mesmos. A transição do “conhecimento vulgar” para o conhecimento científico ocorre por meio de rupturas, segundo Bachelard (1977), pois o estudante traz consigo conhecimentos empíricos provenientes da sua vivência cotidiana. No processo da educação escolar não se trata de "adquirir uma cultura experimental, mas de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já amontoados pela vida cotidiana" (BACHELARD, 1977, p. 150). Neste sentido a abordagem dinâmico-pedagógica empregada possibilitou a problematização do conhecimento construído pela estudante, propiciando alternativas didáticas na direção de favorecer a transição para o conhecimento científico.

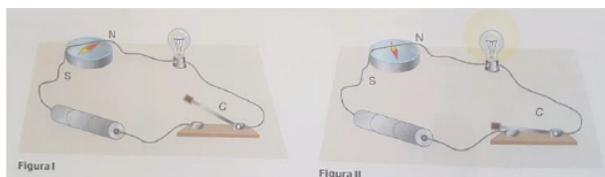
A tentativa de buscar a compreensão científica dos fenômenos observados com o experimento aguçou a concentração, proporcionou maior interação e engajamento nas atividades, o que resultou no melhor aproveitamento das tarefas realizadas, atraindo os estudantes a participarem e colaborarem com o desenvolvimento da aula, tornando-se atores principais na condução dos trabalhos. As atividades práticas de demonstração promoveram maior número de interações em sala de aula e momentos de reflexão sobre os fenômenos físicos estudados (MONTEIRO; MONTEIRO; GASPAS, 2010). Ressaltamos a seguir um trecho do diário de bordo com a percepção do educador:

Devido a maior interação os alunos se engajaram mais nas atividades, o que resultou no melhor aproveitamento das tarefas realizadas. Além de ficarem bastante intrigados em entender a relação entre o fio percorrido pela corrente elétrica e a bússola, sendo esse também os aspectos conceituais mais confusos para os estudantes. Por conta dessas dificuldades conceituais, detalharia mais os conceitos e aumentaria o tempo de discussão. (Fonte: diário de bordo, 25 de setembro de 2018).

Um fator importante a ser observado, é a insuficiência de tempo, um limitante, situação estrutural de como é organizada a carga horária curricular. Outro fator a pontuar foi a maior interação com o livro didático e as questões propostas do mesmo. Como exemplo constatado, a questão abaixo respondida pelos educandos:

Questões Propostas

1. Na experiência de Oersted, o fio de um circuito passa sobre a agulha de uma bússola. Com a chave C aberta, a agulha se alinha como mostra a figura I. Fechando a chave C, a agulha da bússola assume nova posição (fig. II). A que Conclusões Oersted chegou com base nos resultados do experimento?



Ilustrações: Luiz Rubio

Figura 5.1- Questão presente no livro didático adotado pelo colégio e que foi respondida pelos educandos

Fonte: Conexões com a Física (SANT'ANNA, MARTINI, *et al.*, 2013)

A questão destacada integra o livro didático adotado pelo colégio, Conexões com a Física - Editora Moderna dos autores Gloria Martini, Walter Spinesi, Hugo Carneiro, Blaidi Sant'anna, devido à execução prévia da experiência de Oersted, teve maior relevância e despertou maior interesse dos estudantes, visto ter sido exatamente o aspecto questionado na mesma que gerou maior curiosidade e revelou a limitação dos conhecimentos prévios dos estudantes para compreenderem o fenômeno observado durante a experiência. Nesse sentido, o educador conseguiu despertar a curiosidade epistemológica dos educandos, gerando a predisposição para a aprendizagem dos conceitos científicos.

Ainda em relação à questão, quase a totalidade dos educandos apresentaram respostas satisfatórias, como a apresentada abaixo, evidenciando a compreensão científica do tema abordado, destacando a atuação do campo magnético e as linhas de força.

Figura 5.2 - Trecho da resposta dada pelo educando, evidenciando a compreensão científica do tema abordado

Fonte: pesquisa do autor, 2018

Considerando os conhecimentos físicos a serem trabalhados e os objetivos das ações desenvolvidas a atividade com a hiperfídia disponível no Phet, permitiu abordar a relação do movimento de um ímã através de uma espira, facilitando o processo de ensino-aprendizagem

em um tema que geralmente os educandos apresentam bastante dificuldade no eletromagnetismo, fluxo magnético e corrente elétrica induzida. Assim, a Atividade de Estudo Hipermidiática (AEH) (VIDMAR, 2013) favoreceu a interação entre os estudantes potencializando o diálogo.

Já a posterior reprodução do arquétipo da hipermídia com materiais concretos, tornou a discussão acerca do conteúdo tratado mais efetiva. Isso foi notado quando os educandos tentaram desenvolver a AEH de forma prática em grupos de cinco integrantes e muitos tiveram dificuldades de reproduzir o fenômeno físico observado na hipermídia. Por mais que essa seja uma ferramenta extremamente poderosa para simular situações/fenômenos físicos possíveis de serem observáveis no cotidiano, a realização do arquétipo permitiu complementar a simulação virtual, visto que a maioria dos estudantes em um primeiro momento não perceberam a relação do número de voltas da espira e o fenômeno observado, já que na hipermídia o número apresentado é meramente ilustrativo e não corresponde a situação aludida. Reforçando tal aspecto, destacando o enfoque dialógico e evidenciando o desenvolvimento da compreensão científica destacamos a fala de alguns estudantes na interação entre eles:

Quadro 7 - Transcrição das falas dos estudantes, gravadas em áudio durante as aulas

Grupo 3

E₁ “O grupo um conseguiu, eles deram mais voltas nos fios”.

E₂ “(...) eles usaram um pedaço de cartolina para ajudar a enrolar o fio, pegou na biblioteca”.

Grupo 5

E₉ “Não está dando certo, dá mais voltas no fio pra vê!”.

E₇ “O pessoal do grupo um disse que deu quatrocentas voltas e tem que balançar bem rápido o ímã, se não o led não acende”.

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Na fala do estudante **E₁** e **E₉**, evidenciamos a percepção da relação entre o número de voltas e o fenômeno esperado, desencadeando mais uma vez a curiosidade epistemológica a favor da compreensão científica, reforçando a relevância do desenvolvimento do arquétipo produzido.

Os estudantes, na busca de compreender as falhas que ocorreram na execução do protótipo, interagiram mais com os colegas, com o material didático e com o próprio ambiente. Momento que foi possível explorar ainda mais a dialogicidade, como é possível constatar nas

observações do diário de bordo. O trecho a seguir, retirado do diário com as impressões do educador, sinaliza isto:

Alguns grupos apresentaram dificuldade em realizar o experimento de forma efetiva, porém a interação entre os alunos foi intensa, em especial a curiosidade de tentar compreender o sucesso do grupo um, criando um novo momento de questionamento entre os grupos e não só entre os integrantes de cada grupo. (Fonte: Diário de bordo, 25 de setembro de 2018).

Os estudantes puderam se expressar de forma livre e aberta, apresentando proatividade na execução da tarefa, reforçando o caráter dialógico-problematizador da atividade, enfatizando os elementos freirianos dentro dos 3MP, reforçando que a educação não se divide entre os que sabem e os que não sabem, mas reside no diálogo, na problematização "funda-se justamente na relação dialógico-dialética entre educador e educando: ambos aprendem juntos" (FREIRE, 2004, p. 69)

Esse formato de aula tem sido diferente por conta da maior interação entre os estudantes, não houve uma hierarquização entre professor e aluno, todos participavam e opinavam sem necessariamente enxergarem no professor a pessoa detentora do conhecimento a ser transmitido. Estávamos juntos construindo o entendimento dos fenômenos desenvolvidos. Nesse sentido, aula tornou-se mais produtiva, pois os alunos assumiram o protagonismo na sala de aula. (Fonte: Diário de bordo, 02 de outubro de 2018).

No último momento referente à aplicação do conhecimento os estudantes retomaram a problematização inicial através da apresentação do motor simples construído por eles e por meio de um texto dissertativo sobre os temas e conteúdos abordados durante todo desenvolvimento da sequência. Notamos, nessa fase, que mesmo sem um linguajar rigorosamente científico, uma evolução na apropriação do entendimento dos conceitos físicos para explicar o funcionamento do motor simples construído e as correlações com os equipamentos utilizados na (PI), evidenciamos tal fato na fala de alguns estudantes durante as apresentações:

Quadro 8 - Transcrição das falas dos estudantes, gravadas em áudio durante a aula

E₁ “[...] Com uso da regra da mão direita mostramos o sentido do campo no fio que enrolamos para fazer o motor, e esse campo é criado pela corrente gerada pela pilha”.

E₂ “[...] O imã de neodímio é melhor para fazer o motor, o campo é mais forte. Usei um imã de geladeira e não prestou”.

E₃ “[...] Os dois arames são o suporte para os fios enrolados e é por onde fazemos o contato para a passagem da corrente. A corrente quando passa pelo fio gera um campo que interagem com o ímã, e isso causa o giro, parecido com o dínamo, à diferença é que lá gira o ímã que gera a corrente”.

E₇ “[...] No motor que abrimos, não há um ímã como o motor que fizemos, lá a interação é entre os campos gerados pelas bobinas dos fios, nesse motor que estamos mostrando a interação é entre o campo do ímã e do fio, o que faz surgir a força provocando o giro, no final a ideia é igual”.

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Posteriormente a apresentação dos motores, a contextualização com os temas trabalhados abarcando a riqueza mineral local e a exploração para a produção de motores e os carros elétricos utilizando minério de terras raras, permitiu descolar-se da “educação-bancária” (FREIRE, 1996), ao considerar que “a educação científico-tecnológica não é somente um componente. A dimensão cultural dessa ação bem como a percepção sobre a sociedade e o cidadão e o seu lugar nela, recoloca o ensino médio na vida dos cidadãos” (SOUZA; BASTOS; ANGOTTI, 2007, p. 78). Assim, favorece que os educandos possam aplicar o conhecimento construído ao longo das atividades desenvolvidas, extrapolando o ambiente de sala de aula, em conformidade com os 3MP, sobretudo na AC. No quadro abaixo destacamos as falas de alguns estudantes e do professor durante a discussão que envolvia a produção de motores elétricos por meio da utilização de terras raras, na qual suscitaram questões relativas à exploração mineral regional.

Quadro 9 - Transcrição das falas dos estudantes, gravadas em áudio durante a aula.

E₄ “[...] O ímã que usamos para fazer o motor de nossa apresentação é de neodímio, então ele faz parte dos minérios chamados de terras raras?”.

P “[...] Sim, e como vocês já ouviram falar nossa região tem um grande potencial para exploração mineral, inclusive os de terras raras. Por isso é relevante estarmos discutindo sobre isso”.

E₆ “[...] Então se tirarem as terras raras daqui poderia montar uma fábrica de ímãs também, criaria mais trabalho”.

E₈ “[...] Monta nada, já tira o mármore azul e não gerou mais trabalho! Na Boquira tinha muito chumbo e acabou tudo, inclusive a cidade (risos)”.

P “[...] Então, mais uma vez percebemos a importância de saber como os processos ocorrem para compreender de que forma poderemos atuar para modificar essa realidade, a riqueza mineral de uma localidade não garante prosperidade e riqueza para seus moradores de maneira automática”.

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Percebemos com as falas que os estudantes possuem consciência da realidade local e encontram nesse momento a oportunidade de expressarem suas opiniões a respeito de temas que são pouco abordados, desenvolvendo uma relação para além de cálculos e fórmulas com a física. Tratou-se de fomentar um processo educacional que contribui para uma perspectiva emancipatória dos envolvidos.

Esta idéia reforça a tese de que é necessário implementar propostas político pedagógicas que viabilizem a educação numa perspectiva emancipatória dos envolvidos. Reelaborar os conhecimentos físicos, assumidos como conhecimentos educacionais em Física através do estudo das leis, princípios, conceitos, etc., envolvidos na fabricação e funcionamento de artefatos tecnológicos como possibilidade de refletir sobre seus significados. Discutir temáticas que poderão ser levantadas, problematizando-se a partir desses objetos, situações e fenômenos do nosso cotidiano. (ANGOTTI; BASTOS; MION, 2001, p. 5)

Destacamos, nos trechos das dissertações abaixo, dos estudantes ¹²Manoel e Ana, a utilização de conhecimentos interdisciplinares para discutir os aspectos tecnológicos e científicos. Além de evidenciar fatos históricos para discutir avanços científicos os estudantes apresentaram problemas inerentes aos mesmos.

“Um dos meios de transporte mais utilizados no mundo é carro movido à combustível, principalmente o de origem fóssil (petróleo). (...). Nesse sentido, o seguimento dos carros elétricos são de extrema importância ao se analisar, principalmente, dois aspectos: a redução da poluição, bem como a mitigação dos problemas à saúde, essencialmente nas médias e grandes cidades.” (Manoel)

“Durante o século XVIII a Revolução Industrial teve como principal característica as inovações tecnológicas, no qual buscaram atender as diversas demandas dos indivíduos na esfera social. Todavia por conta de vários fatores, urge cada vez mais a necessidade de aquisição por modelos de máquinas em que gerem menos impactos ao meio ambiente, sobretudo a inovação tecnológica nos automóveis elétricos. (...)”. (Ana)

¹² Os nomes utilizados para identificar os estudantes não são os verdadeiros, utilizamos nomes fictícios para preservar a identidade dos mesmos.

No trecho os estudantes destacam a relevância da utilização de novos modelos tecnológicos para atenuar problemas que são inerentes às demandas de locomoção e consumo energético. Os educandos apontam problemas para além do espaço escolar e local, apresentando uma conscientização desenvolvida ao longo das discussões e conhecimentos incorporados, ao ressaltar problemas que são latentes na sociedade.

Outra potencialidade interessante verificada são as intervenções que a situação de ensino provocou nos estudantes através de problemas identificados por eles. Isso desenvolve a criticidade e atuação cidadã por meio da educação para a prática da liberdade. Pois, para Freire (2008), apenas o ser humano é capaz de “agir conscientemente sobre a realidade objetivada” (p. 29) Como exemplo, destacamos alguns trechos das dissertações:

“Torna-se evidente, portanto, que para o advento de inovações tecnológicas sobre os automóveis elétricos, cabe ao governo federal proporcionar estrutura e suporte financeiro as instituições de nível superior, no qual possam realizar pesquisas acerca das falhas dos carros elétricos, (...) Desta forma, concebe-se o aprimoramento e as inovações tecnológicas dos automóveis, permitindo, por conseguinte, uma maior eficiência diante de sua funcionalidade iniciadas no século XVIII com a Revolução Industrial.” (Vitória)

“(...) a relevante importância dos carros elétricos, uma vez que, com zero emissões, ele poderá ser a solução na luta contra a poluição nos grandes centros urbanos. Além disso, há a ausência de ruído, que reduz a poluição sonora e aumenta os níveis de satisfação para que conduz. Dessa forma, risco de hipertensão, por exemplo, seriam atenuados, propondo uma área urbana mais saudável ecologicamente”. (Kleber)

Nos trechos das dissertações de Vitória e Kleber, eles transcendem o espaço de sala de aula, ao sinalizarem alternativas para problemas relacionados à utilização de motores a combustão. Partindo dos objetos concretos estudados foi possível desvelar, analisar, apreciar os fenômenos físicos que gera a maneira de entender o mundo que nos rodeia (BAZIN, 1998). Na direção da prática da criticidade e da consciência por meio das tarefas executadas por intermédio do desvelamento dos conhecimentos científicos que fundamentam os aparatos tecnológicos, os educandos pautaram os aspectos sociais, culturais, ambientais e econômicos. Assim, as atividades propostas buscaram destacar os aspectos relevantes de Ciência e Tecnologia para uma prática cidadã fundamentada na rigorosidade metódica. Pautado em Angotti, Bastos e Mion (2001) “a conscientização implica que ultrapassemos a esfera espontânea de apreensão da realidade para chegar a uma esfera crítica na qual a realidade se dá como objeto cognoscível e na qual o ser humano assume uma posição epistemológica”. (p.189)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino médio vem passando por significativas transformações, logo repensar o ensino de física é uma tônica atual, em especial diante da necessidade de desenvolvimento de uma ciência que deva atuar para além dos muros de colégios e universidades, estimulando práticas investigativas e argumentativas e que estejam em consonância com o contexto do educando.

Reformas curriculares recentes têm evidenciado a relevância que tais práticas sejam vivenciadas pelos educandos no processo ensino-aprendizagem de ciências. Avaliações como o PISA e ENEM têm sido utilizadas para produção de indicadores acerca da qualidade da educação e subsidiado políticas em torno da melhoria do ensino básico e trazem uma concepção de questões, na qual o estudante deve se envolver com a ciência e com a ideia de ciência, como cidadãos reflexivos (JOSÉ; DE BASTOS; ANGOTTI, 2016). Assim, reforça que ensinar e aprender física deve ir para além de memorizar fórmulas e conceitos.

Com a realização desse trabalho buscamos romper com o modelo tradicional de ensino, calcado na memorização de fórmulas e teorias descontextualizadas, atrelado a educação bancária (FREIRE, 2011), na direção de um processo de ensino-aprendizado dialógico-problematizador que valoriza as experiências dos educandos e favoreça a criticidade, autonomia e atitudes colaborativas.

Segundo Auth *et al.* (1995) o processo educacional dialógico caracterizado pela atividade com equipamentos geradores possibilita aos envolvidos perceberem a física e a tecnologia como instrumentos de compreensão e atuação crítica no espaço que estão inseridos. Assim, pontuamos que as atividades realizadas potencializaram a dialogicidade, a atitude crítica e reflexiva, o dinamismo e as ações colaborativas ao valorizar a participação individual de cada educando por meio das problematizações, trazendo para sala de aula as situações cotidianas vivências por eles e seus familiares.

Com o desenvolvimento da pesquisa foi possível ponderar sobre os resultados revelados por intermédio da situação de ensino desenvolvida, sinalizando potencialidades que podem contribuir para melhoria da qualidade do ensino de física, dificuldades identificadas no processo, bem como perspectivas futuras de estudos.

Constatamos potencialidades advindas das atividades propostas que se diferenciaram das do ensino tradicional que são calcadas na exposição de conteúdos e passividade dos educandos, proporcionando, assim, maior proatividade e interatividade, além de abarcar uma transversalidade entre os componentes curriculares favorecendo a interdisciplinaridade através dos textos dissertativos.

As atividades práticas por meio do manuseio e desmonte dos aparatos tecnológicos e a posterior realização das atividades experimentais possibilitaram estimular o estudo dos conhecimentos teóricos, ao criar contexto evidenciando sua relevância para assimilar a construção e funcionamento dos equipamentos examinados, concebendo um processo investigativo em que fórmulas e conceitos vão sendo apresentados à medida que a limitação do conhecimento do educando se imponha, favorecendo, portanto, o processo de ensino-aprendizado, pois dessa maneira esse conhecimento passa a ter significado na situação estudada.

Para além dos conhecimentos da física, relações entre bobinas e ímãs, exploramos a realidade dos estudantes com suas perspectivas e vivência tornando evidente a influência cultural e social no processo de aprendizagem, sendo possível conduzir discussões envolvendo problemas da realidade local à luz da ciência, indicando que ao utilizar os equipamentos geradores é possível relacionar física, tecnologia e sociedade.

Ao tratarmos objetos concretos que fazem parte do cotidiano do educando potencializamos a interação dialógica, a reelaboração dos conteúdos educacionais estabelecendo conexões entre Física, Tecnologia e Sociedade (FTS) no espaço da sala de aula (JOSÉ; DOS SANTOS; DE BASTOS, 2001). Tal abordagem propiciou conhecer a coletividade na qual vivem os educandos, favorecendo o processo de ensino-aprendizagem, à medida que podemos isolar o objeto de estudo considerando as nuances do contexto que torna o mesmo significativo para o educando, cuja análise permita reconhecer a interação de suas partes, levando a compreensão da totalidade. Nesse sentido “[...] lhes seria indispensável ter antes a visão totalizada do contexto para, em seguida, separarem ou isolarem os elementos ou as parcialidades do contexto, através de cuja cisão voltariam com mais clareza à totalidade analisada” (FREIRE, 2001 p. 96).

As análises feitas sugerem que privilegiar os Três Momentos Pedagógicos como organização didática para desopacizar equipamentos geradores contribui para a contextualização dos conhecimentos de Ciência e Tecnologia (C&T) como resultantes de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social. O aprendizado dinâmico e significativo vivenciado na situação de ensino possibilitou aos estudantes um primeiro passo para superarem a curiosidade ingênua em direção à curiosidade epistemológica (FREIRE, 1996).

Além das potencialidades, identificamos algumas dificuldades e limitações para o desenvolvimento da situação de ensino, o tempo investido no planejamento da aula e na execução das atividades contrastando com a limitada disponibilidade de carga horária, e questões técnicas relacionadas ao desmonte dos aparatos, são as principais. Percebemos que

alguns alunos não se identificaram com abordagem dinâmico-pedagógica implementada, acreditamos ser justificativa o fato de estarem habituados ao modelo de ensino tradicional, visto que apresentaram maior dificuldade nas atividades coletivas.

Um ponto importante em ser destacado é que abordagens de ensino como a desenvolvida nesta dissertação permitem reorganização de tempo para o desenvolvimento das atividades, flexibilidade para explorar questões locais de interesse da comunidade, recursos disponíveis como simulações interativas, tirinhas, histórias em quadrinhos, filmes entre outros. O produto educacional, fruto da situação de ensino, contém algumas inserções que contemplam essas possibilidades.

Torna-se válido sinalizar, com as mudanças que estão sendo implementadas no ensino médio por meio da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), elementos na pesquisa apontam perspectivas futuras a serem estudadas. A transversalidade entre os componentes curriculares, constituindo uma possibilidade de trabalhar de forma integrada às áreas do conhecimento que compõem as ciências da natureza. Além da possibilidade em trabalhar a relação entre Equipamentos geradores e os Três Momentos Pedagógicos na formação de professores tornando-se um norteador para a prática pedagógica, ao passo que é necessário ressignificar a atuação de educador e educando no contexto do novo ensino médio.

Nossos resultados sugerem que a experiência em sala de aula se mostrou transformadora ao revelar que o professor aprende ao ensinar e o aluno ensina ao aprender. Educador e educandos se repositionaram no processo de ensino-aprendizagem ao estabelecerem uma relação horizontal rica em diálogos e visões múltiplas de situações comuns, trazendo para o espaço escolar a reflexão diante do discurso da impossibilidade de mudança frente a realidade já estabelecida, que impõe a imobilidade e adaptação aos silenciados, um discurso negador da humanização (FREIRE, 1996).

O educador transformou a sua prática, ao conseguir transpor uma situação social significativa e construir um cenário formativo para além de conteúdos curriculares. Assim, trouxe contexto ao processo de ensino-aprendizagem, propiciando uma nova maneira para a construção de conhecimento ao oportunizar que os educandos se reconhecessem na situação de ensino. O educando, por sua vez, pode exercitar com consciência o seu poder de fala, de forma crítica e cidadã, atuando em conjunto com o educador, transformando a si e o outro, em última instância uma tentativa de transformar sua própria realidade, substituindo a passividade por aptidões técnicas e atitudes científicas (BAZIN, 1977).

Compreendemos que há muito por fazer, porém acreditamos termos avançado na busca para romper com o modelo tradicional de ensino, vislumbrando novas possibilidades de estudos

que estreitam laços com a educação pautada no diálogo e problematizações que partam da experiência existencial do educando, viabilizando um processo ensino-aprendizagem correlato entre a sala de aula e o mundo além dos muros escolares.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, P. C. C. A metodologia de JC Maxwell e o desenvolvimento da teoria eletromagnética. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 5, p. 58-75, 1988. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/10075/9300>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- ALMEIDA, R. D. S.; CERQUEIRA JÚNIOR, W.; SILVA, E. D. S. Concepções de alunos da EJA sobre raios e fenômenos relacionados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, set. p. 507-526, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n2p507>>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- ANGOTTI, J. A. **Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências: um projeto educacional desenvolvido na Guiné-Bissau**. Dissertação (Mestrado em Educação). Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1982.
- ANGOTTI, J. A. P.; BASTOS, F. D. P. D.; MION, R. A. Educação em física: discutindo ciência, tecnologia e sociedade. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 183-197, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132001000200004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 23 jan. 2020.
- AUTH, M. A. *et al.* Prática educacional dialógica em Física via equipamentos geradores. **Cad. Cat. de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 40-46, abr. 1995. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7138/6594>. Acesso em: 23 jan. 2020.
- BACHELARD, G. **O racionalismo aplicado**. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.
- BASTOS, F. P. **Alfabetização técnica na disciplina de Física: uma experiência educacional dialógica**. Dissertação (Mestrado em Educação). Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 251. 1990.
- BASTOS, F. P. **Pesquisa-ação emancipatória e prática educacional dialógica em ciências naturais**. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- BAZIN, M. O cientista como alfabetizador técnico. In: ANDERSON, S.; BAZIN, M. (.). **Ciência e (in)dependência**. Lisboa: Livros Horizonte, v. 2, p. 94-98, 1977.
- BAZIN, M. Ciência na cultura? Uma práxis de educação em Ciências e Matemática: oficina participativa. **Educar em revista**, Curitiba, v. 14, p. 27-38, 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-40601998000100003&script=sci_arttext. Acesso em: 23 jan. 2020.
- CARVALHO, A. M. P. D.; SASSERON, L. H. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 43-55, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142018000300043&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 24 jan. 2020.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000100009&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 24 jan. 2020.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 29, p. 41-51, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-47442007000100009&script=sci_arttext. Acesso em: abr. 2020.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T.. Distorção da obra eletromagnética de Ampère nos livros didáticos. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 29, n. 1, 65-70, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000100012&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: abr. 2020.

CORREIA, J. J. **Resolução de problemas de eletricidade e magnetismo**. Vitória da Conquista: UESB, v. 2, 2014.

DA SILVEIRA, F. L.; MARQUES, N. L. R. Motor elétrico de indução: "uma das dez maiores invenções de todos os tempos. **Cad. Bras. de Ensino de Fís.**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 114-129, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/24283>. Acesso em: 23 jan. 2020.

DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na Guiné Bissau**. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação da USP, Faculdade de São Paulo. São Paulo, p. 227. 1982.

DELIZOICOV, D. Ensino de Física e a concepção freiriana da educação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 85-97, 1983.

DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, M. (). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: UFSC, p. 125-150, 2001

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciência: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

FERREIRA, N. C. **Proposta de laboratório para a escola brasileira: um ensaio sobre a instrumentalização no ensino médio de física**. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1978.

FEYNMAN, R. P. **Lições de Física**. Porto Alegre: Bookman, v. 2, 2008.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 58. ed. Rio de Janeiro/São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2001.

FREIRE, P. Entrevista com Paulo Freire: a educação neste fim de século. In: GADOTTI, M. **Convite à leitura de Paulo Freire**. São Paulo: Scipione, 2004.

FREIRE, P. *Conscientização: teoria e prática da libertação. Uma introdução ao pensamento de Paulo Freire.*, São Paulo, 2008.

FREIRE, P. **Educação como Prática da Liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. A. B. Uma abordagem historico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6433/13267>. Acesso em: 23 jan. 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2016.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JOSÉ, W. D.; SANTOS, F. B.; BASTOS, F. D. P. D. **Paradoxo do Gato de Schrödinger como desafio didático-epistemológico**. XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física. Natal, RN: [s.n.]. 2001.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. D. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 562-613, 2012.

MACHADO, D. I.; SANTOS, P. L. V. A. Avaliação da hipermídia no processo de ensino e aprendizagem da física: o caso da gravitação. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 1, p. 75-100, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132004000100006&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 23 jan. 2020.

MACHADO, K. D. **Teoria do eletromagnetismo**. Ponta Grossa: Editora UEPG, v. 2, 2002.

MACHADO, K. D. **Teoria do eletromagnetismo**. 3 ed. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, v. 1, 2007.

MENEZES, L. C. Novo(?) Método(?) para Ensinar(?) Física(?). **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 2, p. 85-97, 1980. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol02a19.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2020.

MENEZES, L. C. **Crise, Cosmos, Vida Humana: Física para uma educação humanista**. Tese (Doutorado em Educação). Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1988.

MENEZES, L. C. Paulo Freire e os Físicos. In: (ORG.), M. G. **Paulo Freire, uma bibliografia**. São Paulo: Cortez, 1996.

MION, R. A. **Investigação-ação e a formação de professores em Física: o papel da intenção na produção do conhecimento crítico**. Tese (Doutorado em Educação). Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 249. 2002.

MION, R. A.; ANGOTTI, J. A. P. **Investigação-ação e a formação de professores em Física**: o papel da intenção na produção do conhecimento crítico. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticatubas MG: [s.n.]. 2004.

MONTEIRO, I. C. C. **Atividades de demonstração em sala de aula – uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski**. Dissertação - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista. Bauru. 2002.

MONTEIRO, M. A. A. *et al.* As atividades de demonstração e a teoria de Vigotski: um motor elétrico de fácil construção e de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 371-384, jan. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/14814>. Acesso em: 24 jan. 2020.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. **Pesqui. Educ. Ciênc.**, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 199-215, dez. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172012000300199&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 23 jan. 2020.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, set. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132014000300617&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 24 jan. 2020.

ORÉFICE, G.; CABRAL, J. Como funcionam os carros híbridos? **Revista AutoEsporte**, 2019. Disponível em: <https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2019/06/como-funcionam-os-carros-hibridos.html>. Acesso em: 16 jan. 2020.

PERNAMBUCO, M. M. **Educação e escola como movimento: do ensino de ciências à transformação da escola pública**. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1994.

PERNAMBUCO, M. M. C. A. Projeto ensino de ciências a partir de problemas da comunidade: uma experiência no Rio Grande do Norte. **CAPES/MEC/SPEC**, Brasília, 1983.

SAITO, C. H.; BASTOS, F. D. P. D. Tributo a Maurice Bazin: um farol da prática para a liberdade. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 11, n. 2, p. 279-305, nov. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/105007/1982-51532018v11n2p279>. Acesso em: 24 jan. 2020.

SANT'ANNA, B. *et al.* **Conexões com a Física**. 2. ed. São Paulo: Moderna, v. 3, 2013.

SANTOS, M. L. B. D. *et al.* Interdisciplinaridade e os três momentos pedagógicos no ensino de Física: uma prática sobre a matriz energética brasileira, Cuiabá, v. 13, n. 5, p. p. 115-125, 2018. Disponível em: http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID530/v13_n5_a2018.pdf. Acesso em: 24 jan. 2020.

SANTOS, Hugo Shigueo Tanaka; GARDELLI, Daniel. Análise da Lei de Biot-Savart em comparação com a força entre elementos de corrente de Ampère. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 864-879, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p864>. Acesso em: abr. 2020.

SOUZA, C. A.; BASTOS, F. D. P. D.; ANGOTTI, J. A. P. Cultura Científico-Tecnológica na Educação Básica. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172007000100076&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 24 jan. 2020.

TURNBULL, G. Maxwell's equations [Scanning Our Past]. **Proceedings of the IEEE**, 7, july. 1801-1805, 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6532357>. Acesso em: abr. 2020.

VIDMAR, M. P. **Atividades de estudo de Física hipermediáticas: flexibilidade cognitiva, interatividade, interação e visualização**. Dissertação (Mestrado em Educação). Centro de Educação, Universidade de Santa Maria. Santa Maria, p. 133, 2013.

YOUNG, H. D. **Física III: eletromagnetismo**. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

ZABALZA, M. A. **O ensino universitário: seu cenário e seus protagonistas**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

APÊNDICE

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA



PRODUTO EDUCACIONAL

COMO FUNCIONA UM MOTOR ELÉTRICO E UM DÍNAMO DE BICICLETA?
EQUIPAMENTOS GERADORES NO ENSINO DE FÍSICA

Diorge Darlon Batista Araújo

Orientador: Prof. Dr. Wagner Duarte José
Coorientador: Prof. Dr. Ferdinand Martins da Silva

Vitória da Conquista
2020

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional apresenta uma situação de ensino que aborda a temática do eletromagnetismo por meio do conceito de equipamentos geradores estruturada nos Três Momentos Pedagógicos. A sequência foi planejada e elaborada para ser aplicada na 3ª série do Ensino Médio Regular em aproximadamente 10 horas/aula.

O principal cenário para o desenvolvimento deste produto está pautado na possibilidade de aprofundar o diálogo no espaço escolar envolvendo as relações que permeiam a ciência e a tecnologia. O eletromagnetismo permite explorar a evolução tecnológica de diversos objetos tecnológicos tornando o processo de ensino-aprendizagem contextualizado, atenuando o risco de uma prática desconexa sustentada em conteúdos abstratos que geram dificuldade ao estudante em estabelecer relações com sua vivência.

Tendo em vista as múltiplas possibilidades do processo ensino-aprendizagem foram planejadas atividades teóricas, práticas, reprodução de experimento histórico e simulação computacional, todas detalhadas para auxiliar no desenvolvimento das atividades.

A sequência utiliza motores elétricos e dínamos de bicicleta que permitem explorar conceitos de campo magnético, força magnética e indução eletromagnética, conhecimentos físicos impregnados nos equipamentos, ao mesmo tempo, possibilita problematizar questões inerentes ao impacto social, ambiental e no mundo do trabalho, decorrente da evolução científica e tecnológica. Valoriza a vivência do estudante durante todo o processo de aprendizagem, seguindo a premissa que “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção” (FREIRE, 1996, p.47).

A metodologia empregada é um esforço de apresentar novas alternativas ao ensino tradicional de modo a contribuir para a contextualização dos conhecimentos de Ciência e Tecnologia (C&T) como resultantes de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social. Seu desenvolvimento visa contribuir com o aprendizado dinâmico e significativo ensejando aos estudantes um primeiro passo para superarem a curiosidade ingênua em direção à curiosidade epistemológica (FREIRE, 1996), substituindo a passividade por habilidades técnicas e atitudes científicas (BAZIN, 1977).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	91
2	OBJETIVO	91
3	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	93
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
	APÊNDICE A	119
	APÊNDICE B	123
	APÊNDICE C	124
	ANEXO A	126

INTRODUÇÃO

A relação entre ciência e tecnologia tem permeado discussões sobre os impactos sociais e ambientais do desenvolvimento tecnológico. Em uma sociedade globalizada é necessário explorar essas discussões em sala de aula, trabalhando as diversas visões de mundo dos estudantes. O desvelamento de aparatos tecnológicos com base em princípios e leis da física, transformando-os em equipamentos geradores (BASTOS, 1990) é uma possibilidade de rompermos com o imperialismo cultural na perspectiva da educação como prática da liberdade (BAZIN, 1977).

No planejamento das atividades, buscando fugir da mera reprodução de fórmulas e resolução de exercícios abstratos carente de contextualização no ensino de temas do eletromagnetismo, lançou-se mão de objetos tecnológicos concebendo-os como “equipamentos geradores” (AUTH *et al.*, 1995).

Equipamentos geradores, segundo Bastos (1995), são aqueles artefatos tecnológicos e/ou objetos reais do cotidiano, que oferecem possibilidades e condições de gerar um plano de aula ou um programa educacional em torno das leis, teorias e princípios envolvidos na fabricação e no funcionamento destes. Estudá-los em atividades teórico-experimentais (BAZIN, 1977) é uma prática dialógica que parte do contexto sociocultural do estudante e proporciona melhora na compreensão dos conhecimentos físicos (MION; ANGOTTI, 2004).

A metodologia está estruturada sobre os Três Momentos Pedagógicos (3MP), dinâmica derivada da concepção freiriana para o contexto da educação formal, desenvolvida inicialmente, por Delizoicov (1982) e fundamentada pela abordagem temática (DELIZOICOV; ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011).

Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) sugerem que o ensino de temas seja abordado didaticamente por meio dos três momentos pedagógicos (3MP): Problematização Inicial (PI) ou Estudo da Realidade (ER): Abordam-se questões da vivência dos estudantes envolvidas com o tema a ser estudado, problematizando seus conhecimentos instigando a necessidade de novos conhecimentos dentro das discussões, o primeiro passo para superar a curiosidade ingênua. O papel do educador nesse momento não é dar respostas, mas avivar a curiosidade, despertar a dúvida, trazer inquietações e mais profundamente buscar a compreensão da percepção que o sujeito aprendiz possui da sua realidade concreta.

Os problemas apresentados na PI trazem situações relacionadas à concretude da vivência dos educandos, que ao se distanciarem percebem a limitação de conhecimentos e a necessidade de outros que ainda não possuem, configurando um obstáculo a ser superado.

Organização do Conhecimento (OC): trabalham-se os conhecimentos necessários sob a mediação do professor, auxiliando na compreensão e aprofundamento do tema abordado. Uma parte importante no processo de descodificação, pois permite que o estudante vá além dos conceitos estudados em sala de aula, transpassando os conhecimentos para as situações vivenciadas na sua prática diária. Aplicação do Conhecimento (AC): Ocasão que os estudantes, com base nos novos conhecimentos, conseguem analisar e interpretar as situações abordadas inicialmente e outras relacionadas, ampliando sua visão de mundo, de modo que possam empregar o conhecimento organizado as situações práticas do dia a dia.

Ressaltamos que os 3MP não são estanques e permitem flexibilidade entre eles, também que não devem ser reduzidos meramente em uma estratégia didática para organização de aulas como pretexto para introduzir conceituações científicas por meio da problematização, estudando-as na organização do conhecimento e sendo aplicadas posteriormente na resolução de exercícios no terceiro momento. Tratando-se de uma dinâmica fundamentada nas concepções freirianas por intermédio da dialogicidade e problematização, é preciso sistematizar as situações significativas da vivência dos educandos que envolva contradições, buscando problematizá-las para promover a conscientização e implementação de práticas anteriormente ausentes, um processo de “codificação-problematização-descodificação (FREIRE, 2001).

A articulação entre os equipamentos geradores e os 3MP podem desencadear uma concepção de ensino-investigação-aprendizagem apoiada na inserção de instrumentos tecnológicos como balizadores de discussões que abrangem diferentes visões de mundo sobre o tripé Física, Tecnologia e Sociedade (FTS), levando em consideração, situações reais dos sujeitos educativos, tomadas como emblemáticas.

OBJETIVO

Desenvolver uma sequência didática abordando os conceitos físicos na temática do eletromagnetismo tendo como pano de fundo a problematização envolvendo o cotidiano científico-tecnológico do estudante explorando equipamentos geradores por meio da organização dos três momentos pedagógicos.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Sugerimos a sequência em cinco momentos, cada um correspondente a duas aulas de cinquenta minutos. Apresentamos abaixo um quadro com o resumo das atividades desenvolvidas, objetivos e o material empregado em cada momento:

Momentos	Atividades	Objetivos	Atividades dos alunos	Material didático
Primeiro momento 2 aulas (100 min)	ER Atividade 1 Apresentação da Problemática	Reconhecer e explorar os conhecimentos prévios dos alunos em torno da temática.	Grande grupo (todos os alunos)	Notebook e Projetor Dínamo Motor elétrico
	Atividade 2 Desmonte de motor, dínamo e leitura "O motor elétrico"	Conhecer os componentes principais de um motor elétrico e de um dínamo.	Grupos de 5 alunos para desmonte dos equipamentos, anotações dos elementos que compõem os aparatos e leitura de texto	Kit (Motor elétrico, dínamo de bicicleta, alicate e chave de fenda)

Aulas	Atividades	Objetivos	Atividades dos alunos	Material didático
Segundo momento 2 aulas (100 min)	OC Atividade 3 Apresentação de novo elemento (bússola)	Compreender a relação entre a interação do campo magnético de um ímã e um fio percorrido por uma corrente elétrica.	Grande grupo (todos os alunos)	Bússola Ímã
	Atividade 3.1 Simulação virtual Lei de Faraday (Phet)		Grande grupo Interação com simulação da Lei de Faraday.	Smartphone
	Atividade 3.2 Reprodução moderna experimento de Oersted		Em grandes grupos de 4 a 10 alunos ou de acordo a disponibilidade de materiais. Reprodução de experimento e anotações das observações.	Kit (bússola, fios, suportes, bateria)

Aulas	Atividades	Objetivos	Atividades dos alunos	Material didático
Terceiro momento 2 aulas (100 min)	Atividade 4 <i>Retomada de simulação virtual Lei de Faraday</i>	<i>Compreender a Lei de Faraday - Lenz</i>	<i>Interação com a simulação utilizando as linhas de campo grupos de 5 alunos</i>	<i>Smartphone</i>
	Atividade 4.1 <i>Reprodução concreta da simulação virtual Lei de Faraday</i>		<i>Em grupo de 5 alunos reproduzir a simulação e anotar as observações sobre a prática.</i>	<i>Smartphone</i>
	Atividade 4.2 <i>Apresentação de vídeo "motor de indução"</i>		<i>Grande grupo</i> <i>Problematização</i>	<i>Notebook e Projetor</i>
	Atividade 4.3 <i>Extraclasse</i> <i>Construir motor simples</i>		<i>Em grupo de 5 alunos</i> <i>construir motor simples</i>	<i>Kit (fios, pilha, imã, fita isolante).</i>
Aulas	Atividades	Objetivos	Atividades dos alunos	Material didático
Quarto momento 2 aulas (100 min)	Atividade 5 <i>Apresentação de vídeo "terras raras e o carro elétrico"</i>	<i>Discutir os impactos sociais e ambientais do desenvolvimento tecnológico a luz do tripé Física, Tecnologia e Sociedade.</i>	<i>Grande Grupo</i> <i>Discussão sobre o vídeo e correlações com as atividades desenvolvidas</i>	<i>Notebook e Projetor</i>
	AC Atividade 5.1 <i>Produção de texto</i>		<i>Individual dissertar sobre os temas abordados durante as aulas</i>	<i>Folha de redação</i>
Aulas	Atividades	Objetivos	Atividades dos alunos	Material didático
Quinto momento 2 aulas (100 min)	Atividade 6 <i>Discussão do texto dissertativo</i>	<i>Aprofundar a discussão a respeito dos impactos sociais e ambientais do desenvolvimento tecnológico a luz do tripé Física, Tecnologia e Sociedade.</i>	<i>Grande Grupo</i> <i>Discussão sobre as questões levantadas nos textos</i>	<i>Textos</i>
	Atividade 7 <i>Apresentação do motor simples</i>	<i>Aplicar o conhecimento desenvolvido.</i>	<i>Grupos de 5 alunos</i>	<i>Motores produzidos</i>

SITUAÇÃO INICIAL

ER - **Objetivo:** Reconhecer e explorar os conhecimentos prévios dos alunos em torno da temática.

***Problematização Inicial:** apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014)*

Atividade 1- Apresentação da Problemática (Sondagem dos conhecimentos prévios com a utilização de um trailer de filme e apresentação de tirinha em quadrinho).

Assistir ao trailer do filme “O menino que descobriu o vento” disponível no YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=Dj1QVBLxyNs>) com duração de 2 min 19 s.



Figura 1 - Cena filme “O menino que descobriu o vento”.
Fonte: YouTube (2019).

Sinopse - O filme é baseado na história real de William Kamkwamba, um garoto de 14 anos que diante das mais variadas situações de miséria, condições climáticas e falta de perspectiva, cansa-se de assistir todos os colegas e familiares de Malawi, uma das regiões mais pobres da África, passando por dificuldades e decidi começa a desenvolver uma inovadora turbina de vento. Para isso esforça-se para adquirir conhecimentos cada vez mais diversificados, recorrendo a livros da precária biblioteca da escola que foi impedido de frequentar por falta de pagamento. William faz da adversidade e do lixo do vilarejo suas maiores fontes de inspiração e matéria-prima.

Em seguida apresentar as tirinhas em quadrinho “a furadeira elétrica” e iniciar o diálogo com as seguintes questões:



Figura 2: Tirinha em quadrinhos: a furadeira elétrica.

Fonte: Autor (2018).

1 – Estamos em um mundo em constante desenvolvimento tecnológico, manuseamos e operamos equipamentos elétricos corriqueiramente. Mas para que serve um motor elétrico e um dínamo? Quais são suas aplicabilidades?

2 – A utilização de utensílios elétricos só é possível por conta da distribuição da energia elétrica através das redes de fornecimento ou através de geradores elétricos que ainda hoje são utilizados em locais que as redes das concessionárias de energia não atendem. Antigamente, quando ainda não existiam essas possibilidades, como será que as pessoas faziam para perfurar uma superfície?

3 – Quais seriam as vantagens e desvantagens (se é que possuem) de um equipamento elétrico em relação a um equipamento manual? Como exemplo uma furadeira elétrica a uma furadeira manual?

4 – Você consegue explicar como um motor elétrico funciona? E um dínamo? O que é preciso ter dentro de um motor para que ele funcione? E no dínamo? Você consegue imaginar viver sem essas tecnologias? Como seria?

5 – Apesar de toda a adversidade que envolve a realidade de William o protagonista do filme, é curioso e interessado por elementos que não fazem parte da cultura local e por isso empenha-se em pesquisar. O que leva William a um comportamento diferente dos demais moradores do vilarejo? Inclusive em relação a sua irmã? Como a ciência atua nesse contexto?

Obs: Esse momento de diálogo com a turma é extremamente relevante, nele o professor irá identificar a vivência do estudante em relação aos questionamentos abordados. Vale ressaltar a necessidade de sensibilidade com questões socioeconômicas para não gerar nenhuma situação de desconforto com algum estudante. Pode ser oportuno inserir novos questionamentos para enriquecer a conversa e explorar ao máximo as experiências dos alunos, o professor possui total liberdade para fazê-lo.

Objetivo: Conhecer os componentes principais de um motor elétrico e de um dínamo.

Atividade 2 – Desmonte de motor, dínamo e leitura “O motor elétrico”.

Essa atividade será composta por algumas etapas, é importante estar atento para os detalhes, pois pode ser necessário adequação a cada realidade de sala e recursos disponíveis. Levar para sala de aula motor elétrico e dínamo que serão trabalhados como equipamentos geradores, ferramentas para atividade de desmonte. Os equipamentos e ferramentas compõem o *kit* a ser entregue a cada equipe. Os estudantes terão total liberdade para manusear os equipamentos, porém a demonstração do funcionamento dos aparelhos deve ser feita pelo professor e o desmonte supervisionado. É interessante o professor providenciar uma bicicleta com o dínamo para ilustrar a demonstração ou montar um aparato experimental composto de uma manivela acoplada ao dínamo que acionada acenderá um farolete, como sugerido na figura 3.

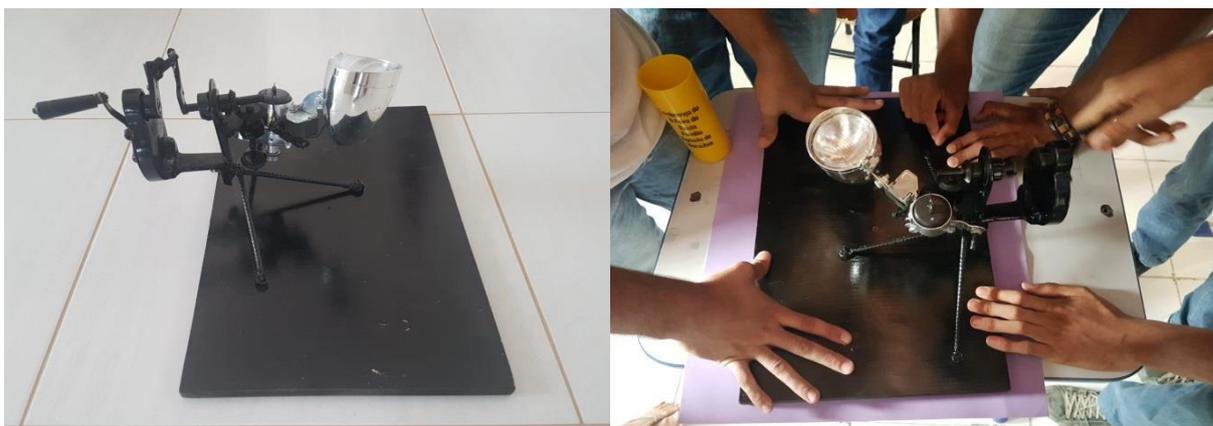


Figura 13: Manivela acoplada ao dínamo.

Fonte: Autor (2018).

O termo equipamentos geradores pressupõe que o desvelamento dos conhecimentos físicos impregnados em equipamentos tecnológicos é capaz de gerar um currículo escolar. Estudá-los em atividades teórico-experimentais (BAZIN, 1977) é uma prática dialógica que parte do contexto sociocultural do estudante e proporciona a compreensão dos conhecimentos físicos (AUTH et al., 1995).

Material:

Kit (Motor doméstico para máquina de costura, dínamo de bicicleta, alicate e chave de fenda).



Figura 4: Equipamentos geradores e ferramentas.

Fonte: Autor (2018).

Procedimento:

1ª etapa: Os estudantes, em grupos de até seis alunos, devem manusear e desmontar o motor e o dínamo, explorando e observando atentamente os elementos constituintes dos equipamentos.

2ª etapa: Cada grupo deverá fazer uma lista anotando os elementos que compõem o motor e o dínamo (por exemplo, bobina, carvão, etc).

Organização do Conhecimento: momento em que, sob a orientação do professor, os conhecimentos [...] [científicos] necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados. (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014)

Após o desmonte dos equipamentos, problematizar as questões seguintes com os estudantes que buscarão respondê-las em grupo e propor a leitura do texto “O motor elétrico” (anexo A) disponibilizado no endereço (<https://super.abril.com.br/ciencia/o-motor-eletrico/>) como matéria da revista Superinteressante. O objetivo é elucidar e estruturar questões referentes ao processo do desenvolvimento tecnológico.

1 - Por que nos equipamentos existem fios enrolados?

2 - Para que serve o ímã?

3 - Qual o papel dos fios enrolados? Se tirarmos o ímã o dínamo funciona? Justifique.

4 - Como é o motor? Esquematize.

3ª etapa: Neste momento, propor uma discussão com todos os alunos, dialogando sobre as suas impressões e ideias a partir do texto, das questões respondidas, dos elementos que compõem o motor e dínamo e as implicações do desenvolvimento tecnológico sobre as relações sociais e interesses econômicos no desenvolvimento de novos equipamentos.

OC - Objetivo: Compreender a relação entre Ímã e um fio percorrido por uma corrente elétrica.

Atividade 3 – Apresentação de novo elemento (bússola)

A construção ou a produção do conhecimento do objeto implica o exercício da curiosidade epistemológica, sua capacidade crítica de tomar distancia do objeto, de observá-lo, de delimitá-lo, de cindí-lo, de “cercar” o objeto ou fazer aproximações metódicas, sua capacidade de comparar, de perguntar (FREIRE, 1996, p. 85).

1ª etapa: O professor buscará levantar questões relacionadas às observações feitas nas etapas da atividade 2 introduzindo novos elementos como a bússola, problematizando as seguintes questões:

1 - Qual a relação entre uma espira de fio de cobre e o movimento de um ímã?

2 - Como funciona uma bússola?

3 - O que ocorre quando aproximamos o ímã de uma bússola? E um fio percorrido por uma corrente elétrica? Podemos relacionar as duas situações?

Os smartphones estão cada vez mais presentes na sala de aula, por isso devem ser utilizados com a finalidade de contribuir com o desenvolvimento dos conteúdos disciplinares. Há muitos aplicativos didáticos disponíveis, mas as escolas não utilizam esses recursos, por isso, muitas delas não conseguem controlar o uso inadequado do celular durante as aulas. Então, por fazer parte do cotidiano de crianças e adolescentes em geral, além de oferecer diversos recursos, o celular precisa contribuir com o bom desenvolvimento da educação (DA SILVA, 2017).

Atividade 3.1 – Simulação virtual Lei de Faraday (Phet)

O professor solicitará aos alunos que utilizem o *smartphone* para acessar a página do Phet simulações e interajam com a simulação da Lei de Faraday.

Com a **Lei de Faraday**, os estudantes podem investigar como uma mudança no fluxo magnético pode produzir um fluxo de eletricidade e como as relações entre o movimento do ímã e a bobina contribuem para esse fenômeno.

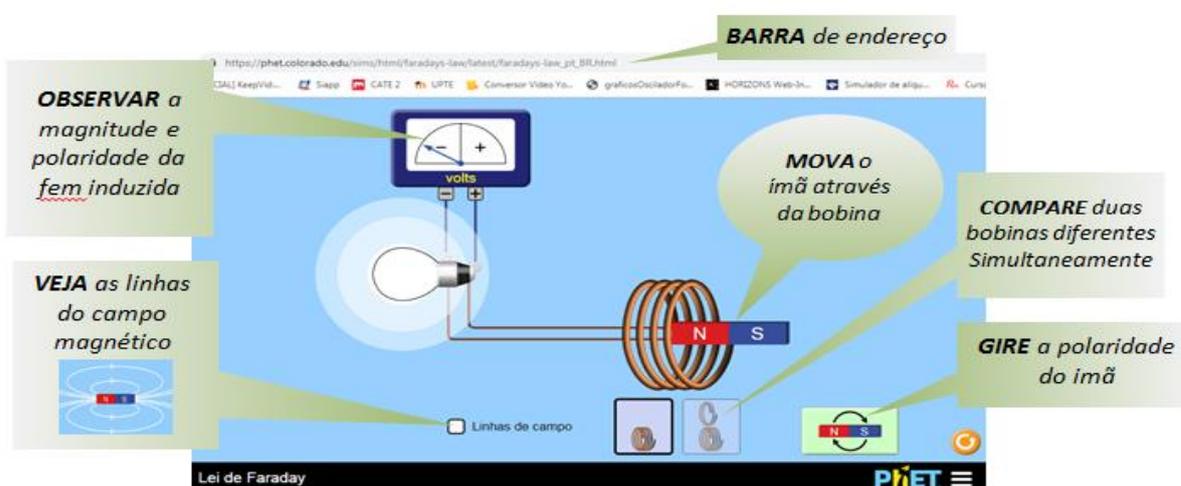


Figura 5: Interface gráfica simulação Lei de Faraday.

Fonte: Autor (2019).

Phet simulações é um projeto desenvolvido pela Universidade do Colorado que disponibiliza simulações interativas auxiliando professores em suas aulas através de hiperlinks bastante intuitivas.

Roteiro – atividade 3.1

- O professor orientará os estudantes em grupos (podem ser mantidos os grupos das atividades anteriores) a acessarem através de seus smartphones o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html
- O link dará acesso direto à simulação da Lei de Faraday exibindo a interface gráfica apresentada na figura 3. A mesma contém orientações rápidas de comandos do programa como auxílio para o desenvolvimento da atividade.
- Após acessar o link os alunos devem explorar as ferramentas da simulação sem muitas intervenções do professor, eles devem ter a liberdade de descobrirem as funcionalidades e inquietarem-se com o fenômeno observado.
- Transcorrido alguns minutos dessa interação seguir para a atividade 3.2

Atividade 3.2: Reproduzir modernamente os procedimentos e observações de Oersted com materiais de baixo custo.

A reprodução da experiência será feita em grupos de quatro a dez alunos ou de acordo com a disponibilidade de material.

É preconizado na BNCC que a contextualização histórica não se ocupe apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura.

Ao reproduzir o experimento de Oersted é relevante considerar os aspectos destacados no quadro referente à BNCC. No decorrer da atividade destaque as observações feitas por Oersted, contextualizando com o conhecimento científico do momento histórico em que o experimento foi realizado.

Para iniciar a atividade o professor deverá distribuir o *kit* experimental para todos os grupos, em seguida orientar o passo a passo para que a atividade seja realizada em conjunto por todos os grupos. É importante que o professor peça aos alunos para anotarem as observações realizadas durante o procedimento, isso irá favorecer a maior participação e aprendizagem no momento da discussão.

Roteiro – atividade 3.2

Michael Faraday foi o precursor dos motores elétricos, ao introduzir um magneto em uma bobina de fio de cobre, fez com que o mesmo girasse ao passar por uma corrente elétrica.

Podemos dizer, então, que um motor elétrico simples é um equipamento que converte energia elétrica em energia mecânica, funcionando basicamente pela repulsão entre dois ímãs, um natural e outro não natural (eletroímã), é conveniente o uso de ímãs não naturais, pois há a possibilidade de inversão dos polos magnéticos, por meio da inversão do sentido da corrente elétrica.

Propomos trabalhar com o motor simples de corrente contínua, pois apresenta o mesmo princípio de funcionamento de motores que integram várias ferramentas e aparelhos eletrodomésticos, nesses motores o giro de sua bobina, acoplada ao rotor, é provocado pela corrente elétrica. Além de ser um instrumento interessante para abordar temas do eletromagnetismo, como, evidenciar a aplicação prática da experiência de Oersted, na qual a corrente elétrica está associada a um campo magnético.

Montagem do experimento

Materiais (Um kit)

- 1 bateria de 9 V
- 4 garras Jacaré 28mm
- 100 cm de fio de cobre rígido de diâmetro 1,5 mm
- 80 cm de fio de cobre flexível diâmetro 1,5 mm
- 29 cm de fio de estanho
- 400 g de gesso
- 1 Bússola
- 1 fita isolante
- 2 copos descartáveis de café
- 2 palitos de churrasco
- 3 canudos com diâmetro maior que os palitos de churrasco (os canudos revestirão os palitos)
- 1 Uma lata de alumínio de refrigerante vazia
- 3 tampas de garrafa pet
- 40 cm de arame galvanizado ou 3 clips
- 3 agulhas de costura que chamaremos a partir de agora de alfinete para não confundir com a agulha da bússola
- 1 pedaço (plástico, papelão, madeira, guardanapo, papel alumínio e outros) obs: os materiais serão utilizados para serem colocados entre a agulha da bússola e o fio, durante o experimento.

Instruções de montagem

- Fazer o suporte para a agulha da bússola, pois assim ela terá maior liberdade de movimento. Primeiro devemos desmontar a bússola e retirar sua agulha, em seguida faremos o suporte. Para isso, iremos pegar um pedaço de 8 cm de arame galvanizado e fixá-lo em uma tampa de garrafa pet. Com um alicate segure o arame e aqueça uma de suas extremidades, quando bem aquecido transpasse a tampa com o arame e depois o cole com durepoxi. Em seguida utilize a fita isolante para prender o alfinete no arame, na sequência coloque a agulha sobre o alfinete. A agulha deve manter o alinhamento na direção norte-sul. Depois de pronto deve ficar como na figura 1.
- Com um pedaço de arame de 15 cm repetiremos o procedimento anterior agora fazendo uma curvatura no arame como na figura 2.



Figura 1: Suporte reto.
Ilustração: Diorge Darlon.



Figura 2: Suporte com curva.
Ilustração: Diorge Darlon.



Figura 3: Versorium.
Ilustração: Diorge Darlon.

- Repetir o primeiro procedimento para fazer o versorium, porém, agora, ao invés de apoiarmos a agulha da bússola, recortaremos um pedaço retangular da lata de alumínio e o dobraremos de modo que as pernas fiquem arqueadas para baixo, ver figura 3.
- Fazer os suportes de sustentação do fio que utilizaremos para a interação com agulha imantada. Pegaremos um copo descartável de café e fixaremos um palito de churrasco, para isso, faremos um furo no fundo do copo passaremos o palito e por dentro o colamos com durepoxi, em seguida preparamos um pouco de gesso e preenchemos todo o copo, depois de pronto deverá ficar como na figura 4. Repetir o processo para fazer outro e completar o suporte.
- Fazer duas garras que servirão para ligar o circuito e sustentar o fio que irá interagir com a agulha imantada, para isso, cortaremos o fio flexível em duas partes, cada um ficará com um tamanho de 40 cm, feito isso conectar em cada extremidade do fio a garra jacaré. Ver a figura 5.
- Preparar o fio de cobre rígido que irá atuar sobre a agulha da bússola, que chamaremos de fio 1. Cortaremos 29 cm de fio desencapando 2 cm em cada extremidade, em seguida dobraremos a extremidade de maneira a formar um círculo que deverá ter o diâmetro um pouco maior que o palito de churrasco, o qual o fio deverá ter facilidade de deslizar verticalmente para ajustar sua altura. Resultado mostrado na figura 6.
- Repetir o procedimento anterior com o fio de estanho. Fazer também, um fio com as mesmas características utilizando papel alumínio, para isso corte um pedaço do papel alumínio dobre e depois o enrole.
- Prepara outro fio rígido que irá atuar também sobre a agulha, que chamaremos de fio 2. Cortar 17 cm de fio desencapar 1 cm em cada extremidade, em seguida dobre-as em um ângulo de 90°. Feito isso, com cola quente e fita isolante prenda o fio em um canudo figura 7. O mesmo servirá para encaixar nos suportes de palito de churrasco.
- Preparar mais um fio rígido, agora no formato de U, que chamaremos de fio 3. Para isso, pegaremos 52 cm de fio rígido desencapando 1 cm em cada extremidade, em seguida dobre-as em um ângulo de 90°. Feito isso, dobre o fio no formato de U, em que as laterais fiquem com 20 cm de altura e a base com 10 cm. Na sequência, com cola quente e fita isolante prenda cada lateral do fio a um canudo. O arranjo deverá ficar como a figura 8.



Figura 4: Suporte de sustentação. Ilustração: Diorge Darlon.

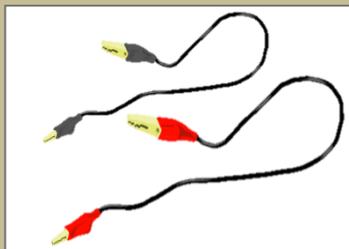


Figura 5: Garras jacaré. Ilustração: Diorge Darlon.



Figura 6: Fio 1. Ilustração: Diorge Darlon.



Figura 7: Fio 2. Ilustração: Diorge Darlon.



Figura 8: Fio 3. Ilustração: Diorge Darlon.

Procedimento experimental

Primeira Etapa

- Inicialmente iremos precisar dos suportes de sustentação com os palitos, o fio 1 de cobre rígido, o suporte com a agulha imantada, as duas garras e a bateria de 9V.
- Colocaremos o fio 1 preso no suporte de palito de modo que ele fique na horizontal paralelo e 1 cm acima da agulha que deverá estar alinhada com a direção norte-sul da terra, para ajustar a altura do fio em relação à agulha utilizaremos as garras de jacaré que também servirá para ligar o circuito. Após montado o aparato deverá ficar como na figura 9.
- Ao ligar o circuito perceberemos que a agulha será defletida para oeste em um ângulo de aproximadamente 45°.
- Faremos outros procedimentos, agora iremos elevar o fio afastando um pouco mais da agulha, porém sempre mantendo o mesmo paralelo e acima. Ao fecharmos o circuito perceberemos que a agulha irá defletir, só que dessa vez o desvio será menor do que 45°. Assim, constatamos que à medida que afastamos o fio, o efeito sobre a agulha diminui o que está de acordo com as observações de Oersted.

“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.” (ØRSTED, 1986, p.119).

- Na sequência do procedimento anterior iremos inverter a polaridade do fio, iremos perceber que a deflexão ocorrerá para o outro lado, leste, constatamos, portanto, que o desvio da agulha não depende apenas da direção da corrente, mas também do seu sentido. Figura 10 e 11.



Figura 9: Primeiro aparato. Ilustração: Diorge Darlon.

- Um próximo procedimento a ser realizado é arrastar o fio rígido para leste, mantendo-o paralelo ao eixo norte-sul magnético local. Fechando o circuito, a agulha irá se deslocar novamente para oeste, ainda que o ângulo de deflexão seja um pouco diferente do caso anterior. Se deslocarmos o fio para oeste o mesmo irá ocorrer. Algo interessante de ser notado, independente do fio rígido estar à direita ou à esquerda da agulha magnética, a mesma irá girar para o mesmo lado. Por meio dessa experiência Oersted eliminou a hipótese de que ao passar corrente no fio, este tivesse sido imantado, pois caso isto tivesse ocorrido, a agulha imantada seria atraída de um lado e repelida do outro girando em sentido contrário.

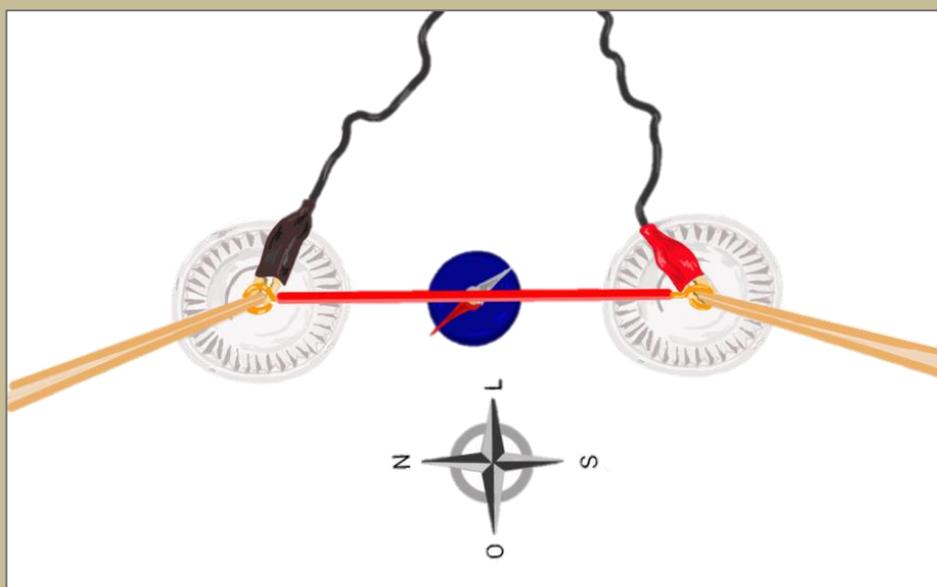


Figura 10: Polaridade inicial. Ilustração: Diorge Darlon.

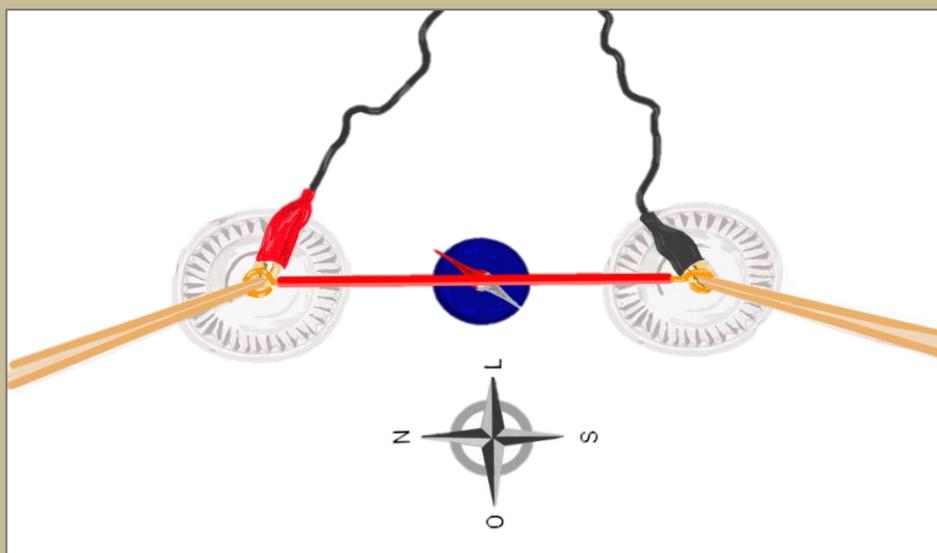


Figura 11: Inversão de polaridade. Ilustração: Diorge Darlon.

- Utilizaremos agora o suporte da agulha magnética com a curvatura, assim a mesma ficará acima e paralela ao fio rígido figura 12. Voltamos o aparato para a posição inicial, na qual a agulha se desvia para oeste. Ao fechar o circuito a agulha irá se desviar para leste, em seguida invertemos a polaridade, agora, ela se desvia para oeste. Constatamos, portanto, que ao colocarmos a agulha sobre o fio ela terá o comportamento inverso de quando colocada embaixo.
- Outro procedimento é alinhar a agulha ao lado do fio rígido, colocando ambos no mesmo plano horizontal, ao fecharmos o circuito constataremos que quando a agulha está apontada para o lado negativo do fio a mesma se inclinará para baixo e quando estiver apontada para o lado positivo se eleva.
- Para verificar se há alguma atração eletrostática quando a corrente percorre o fio, voltaremos ao arranjo original e substituiremos a agulha pelo versorium, constataremos que o mesmo não sofrerá nenhuma deflexão ou movimento qualquer independente do circuito estar aberto ou fechado, Oersted demonstra assim, que o efeito observado sobre a agulha magnética não é devido aos fenômenos eletrostáticos usuais.
- Agora vamos substituir o fio 1 pelo de estanho e em seguida pelo de alumínio. Ao ligarmos o circuito constataremos que todas as deflexões quanto ao sentido e direção serão as mesmas, porém os ângulos das deflexões serão diferentes da do fio de cobre rígido. Logo, verificamos que o material condutor não altera o efeito, mas modifica sua magnitude.
- Seguindo com a experimentação, vamos interpor materiais entre a agulha e o fio rígido condutor, tais como plástico, papelão, madeira, guardanapo, papel alumínio e outros. Perceberemos que ao realizar o procedimento a agulha continuará se desviando como antes, assim, o efeito não é alterado independente dos materiais interpostos. Dessa observação, Oersted conclui que os efeitos que ocorrem são muito diferentes dos efeitos decorrentes de forças elétricas.

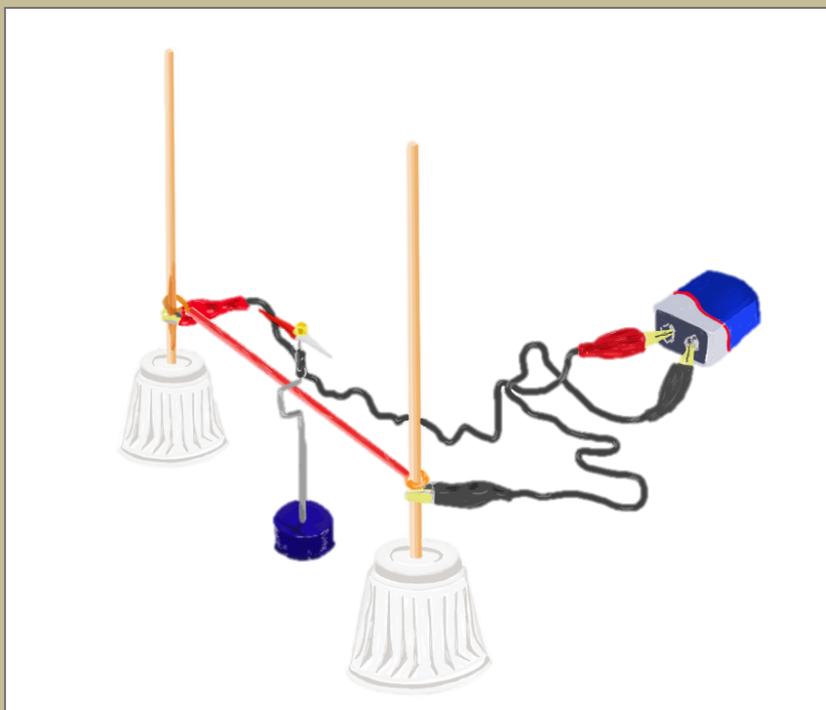


Figura 12: Agulha sobre o fio. Ilustração: Diorge Darlon.

Segunda Etapa

- Nessa segunda etapa precisaremos de um suporte feito com o palito de churrasco, o fio 2 de cobre rígido, as garras de jacaré, bateria 9V e o suporte com a agulha imantada.
- Posicionaremos o fio rígido na posição vertical formando um ângulo reto com a agulha imantada, para tal, utilizaremos o canudo para prender o fio no palito conforme a figura 13.
- Colocaremos a agulha apontada para o fio, ao fecharmos o circuito ela irá se desviar para oeste ou leste a depender da polaridade da ligação.
- Quando conectarmos o terminal positivo da bateria na parte superior do fio a agulha irá girar para leste, ou inverter a polaridade a agulha irá desviar para oeste. O que está de acordo com as observações de Oersted.

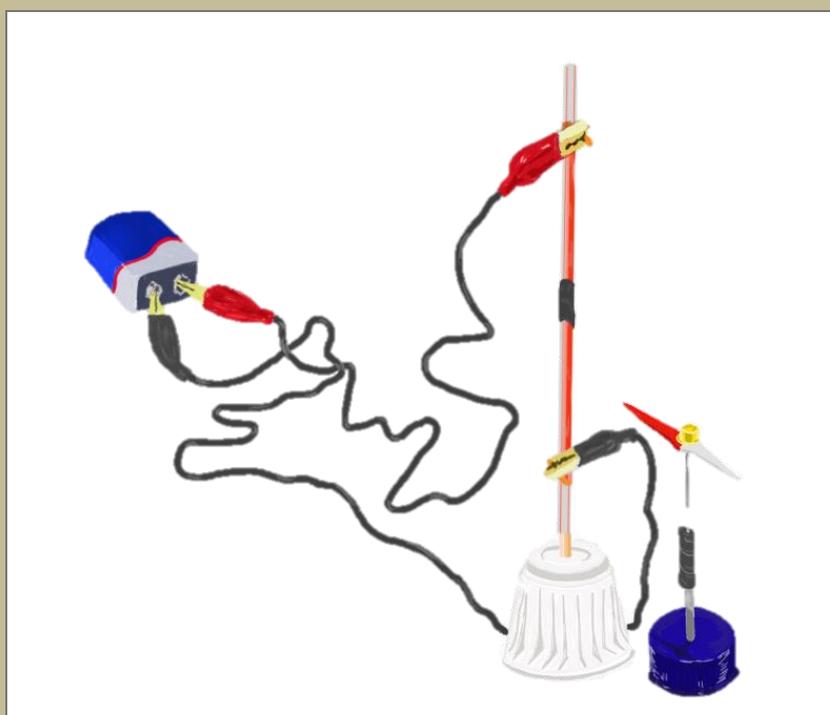


Figura 13: Fio 3. Ilustração: Diorge Darlon.

Terceira Etapa

- Para a terceira etapa precisaremos dos dois suportes de sustentação com os palitos, o fio 3 de cobre rígido no formato de U, o suporte com a agulha imantada, as duas garras e a bateria de 9V.
- O arranjo deverá ser montado como na figura 14, utilizaremos os canudos fixados no fio para prendê-lo nos suportes de palitos, a agulha deverá ser posicionada perpendicularmente entre as pernas do fio no formato do U, direcionada para o meio do arranjo. O fio em U deve ser posicionado perpendicular ao meridiano magnético.

- Ao fecharmos o circuito, a agulha poderá se deslocar para leste ou para oeste de acordo as circunstâncias, pois o fio no formato que está funciona como uma espira, após a agulha entrar em equilíbrio ela poderá se orientar de duas formas.

- Se conectarmos o polo positivo a oeste, a agulha se orientará para o sul, se conectarmos o polo positivo a leste, a agulha se orientará para norte. Isso se justifica pelo fato da agulha imantada está sob a ação de duas forças paralelas. Se as forças estiverem apontadas no mesmo sentido se somarão, se estiverem em sentidos opostos, irão se subtrair. Assim, a força resultante atuante sobre o polo mais próximo ao centro do fio em forma de U estará na direção oposta à força exercida sobre este polo pelo magnetismo terrestre. A depender de qual dos polos da agulha esteja mais próximo da espira, ela ficará em equilíbrio estável, será atraída pela espira ou instável, será repelida pela espira.

No equilíbrio instável qualquer perturbação em relação ao meridiano magnético tenderá a aumentar e agulha não retornará à posição original.



Figura 14: Fio 3. Ilustração: Diorge Darlon.

1ª etapa: Logo após as problematizações e a realização do experimento propor a leitura do texto: *Oersted e a descoberta do Eletromagnetismo* (Apêndice A).

2ª etapa: Após a leitura, dialogar com os alunos a respeito do texto e explicar a relação entre campo magnético gerado por corrente elétrica. (Apêndice B).

A partir da atividade anterior, responder questões propostas. Nesse momento é importante que o professor organize ao seu critério uma lista de exercícios e/ou atividades conceituais.

Objetivo – Compreender a Lei de Faraday – Lenz

Aplicação do Conhecimento: momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014)

Atividade 4: Retomada de simulação virtual Lei de Faraday

1ª etapa: retomar a simulação do Phet da Lei de Faraday demonstrando graficamente as linhas de campo. Após a nova interação com a simulação, relacionar as linhas de campo com a Atividade 3.2, depois de explorado esse momento seguir para próxima atividade.

Atividade 4.1: Arquétipo da simulação virtual Lei de Faraday

Ao terminar este primeiro momento, será disponibilizado aos alunos *Kits* com fios de cobre, ímãs e leds e outros materiais como descrito no roteiro. Os alunos em grupo buscarão reproduzir o experimento da simulação e anotar em seu caderno as impressões observadas.

Roteiro – atividade 4.1

- O professor orientará os estudantes em grupos (podem ser mantidos os grupos das atividades anteriores) a construir um arquétipo da simulação do Phet – Lei de Faraday, disponibilizando os materiais necessários, porém sem fornecer muitas explicações de como os estudantes devem proceder, eles devem analisar a hiperímia buscando as correlações de como o material fornecido devem ser utilizados para a reprodução do fenômeno observado. O objetivo é que os alunos desenvolvam um processo de investigação por tentativa e erro.

Obs: O principal não será a construção efetiva do arquétipo, mas sim o caminho que o estudante irá percorrer nesse intuito, será natural que alguns grupos não consigam realizar a atividade, isso possibilitará fortalecer o diálogo em torno das dificuldades encontradas pelos estudantes enriquecendo a problematização sobre o fenômeno da indução eletromagnética.

Montagem do experimento

Materiais (Um kit)

- 1 pedaço de papel cartão 14 cm x 14 cm
- 4 m de fio de cobre esmaltado n° 29
- 5 ímãs de neodímio 15 mm x 3 mm
- 1 LED difuso 5 mm
- 1 fita adesiva transparente

Instruções de montagem

- Enrolar o papel cartão no formato de um cilindro de aproximadamente 2 cm de diâmetro utilizando a fita adesiva para prender o papel no formato desejado.
- Utilizar o cilindro de papel cartão para construir a bobina, para isso, enrolar o fio de cobre no mesmo dando aproximadamente 500 voltas preferencialmente no centro do cilindro. Finalizado o enrolamento, dar uma volta com a fita adesiva por cima do fio para que o mesmo não se solte.
- Raspar as pontas do fio da bobina em seguida conectar nos terminais do LED. Finalizado, o arquétipo deverá ficar assim:

Procedimento experimental

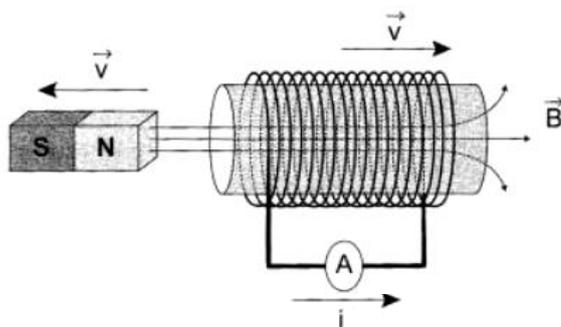
O ímã deverá ser colocado no interior do cilindro e movimentado, gerando assim, uma variação do fluxo magnético, induzindo na bobina uma corrente elétrica que fará piscar o LED.



1ª etapa: Após a realização da atividade, dialogar com os alunos sobre as impressões observadas, explicar a causa da corrente induzida e a Lei de Faraday – Lenz. (Apêndice C).

2ª etapa: Nesta etapa é proposta a resolução da questão 72 Enem 2014 – Prova azul.

O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da velocidade igual a v , induzindo uma corrente elétrica de intensidade i , como ilustrado na figura.



A fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a

- A** esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
- B** direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
- C** esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
- D** direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
- E** esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.

Como este conteúdo é abordado próximo à realização do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e diante do interesse da grande maioria dos estudantes por conta da sua utilização como seleção para o ingresso na maioria das Universidades do país, é interessante terem noção de como o tema trabalhado pode ser abordado no Exame.

Atividade 4.2: Apresentação de vídeo “motor de indução”

Posteriormente a discussão da questão do Enem, apresentar o vídeo sobre motor de indução e abordar o seu funcionamento.

http://www.if.ufrgs.br/~lang/Motor_inducao.wmv

Para poder se aprofundar no assunto, sugerimos a leitura do artigo:

MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO: “UMA DAS DEZ MAIORES INVENÇÕES DE TODOS OS TEMPOS”.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MARQUES, Nelson Luiz Reys. Motor elétrico de indução: “uma das dez maiores invenções de todos os tempos”. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [s.l], v. 29, n. q, p.114-129, 10 maio 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29n1p114>

Atividade 4.3: Extraclasse - Construir motor simples

Nesta atividade o professor orientará os alunos em grupos (pode ser mantido os grupos das atividades anteriores) para construir um motor simples que deverá ser apresentado no momento final à luz dos conhecimentos trabalhados. Para a construção do motor simples um guia em anexo com os detalhes da atividade. O guia é uma sugestão, é indicado que o professor sugira aos grupos consultar bibliografias ou sites sobre o assunto na internet para a montagem do motor, de forma a enriquecer as apresentações e discussões.

Roteiro – atividade 4.3

Michael Faraday foi o precursor dos motores elétricos, ao introduzir um magneto em uma bobina de fio de cobre, fez com que o mesmo girasse ao passar por uma corrente elétrica.

Podemos dizer então, que um motor elétrico simples é um equipamento que converte energia elétrica em energia mecânica, funcionando basicamente pela repulsão entre dois ímãs, um natural e outro não natural (eletroímã), é conveniente o uso de ímãs não naturais, pois há a possibilidade de inversão dos polos magnéticos, por meio da inversão do sentido da corrente elétrica.

Propomos trabalhar com o motor simples de corrente contínua, pois apresenta o mesmo princípio de funcionamento de motores que integram várias ferramentas e aparelhos eletrodomésticos, nesses motores o giro de sua bobina, acoplada ao rotor, é provocado pela corrente elétrica. Além de ser um instrumento interessante para abordar temas do eletromagnetismo, como evidenciar a aplicação prática da experiência de Ørsted, na qual a corrente elétrica está associada a um campo magnético.

Montagem do experimento

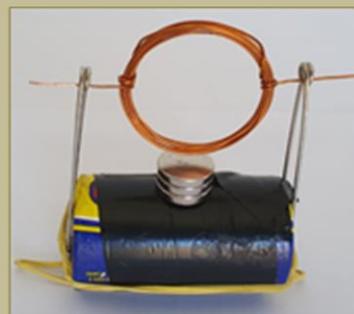
Materiais (Um kit)

- 134 cm de fio esmaltado n° 23
- 1 elástico super amarelo n° 18 (borrachinha p/dinheiro)
- 3 ímãs de neodímio 15 mm x 3 mm
- 2 alfinetes de segurança 60 mm
- 1 pilha grande D
- 1 estilete

Instruções de montagem

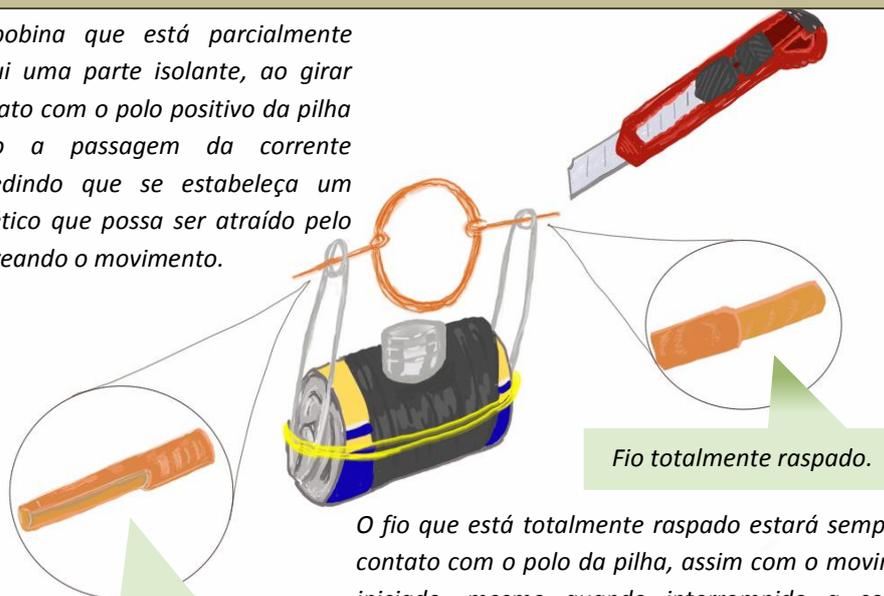
- Fazer uma bobina com fio de cobre esmaltado efetuando 12 voltas em torno da pilha, deixando 2 cm em cada extremidade do fio, ao final a bobina terá aproximadamente 3 cm de diâmetro.

- Raspar, com auxílio do estilete, as extremidades do fio da bobina, um dos lados deve ser raspado toda a sua circunferência, ou seja, os dois lados, enquanto o outro apenas um lado. Atenção, caso não siga corretamente esse procedimento o motor não irá funcionar.
- Posicionar os ímãs no meio da pilha, depois com a ajuda do elástico prender os dois alfinetes que servirão de suporte e terminais para a bobina.
- Posicionar a bobina nos terminais (alfinetes). Para a bobina começar a girar será necessário dar um primeiro impulso para vencer a inércia do sistema, também poderá ser necessário à inversão dos polos da bobina para que crie a repulsão entre a mesma e o ímã.



Procedimento experimental

O polo da bobina que está parcialmente raspado possui uma parte isolante, ao girar entra em contato com o polo positivo da pilha interrompendo a passagem da corrente elétrica, impedindo que se estabeleça um campo magnético que possa ser atraído pelo polo do ímã, freando o movimento.



Fio parcialmente raspado, apenas um dos lados o esmalte foi retirado.

Fio totalmente raspado.

O fio que está totalmente raspado estará sempre em contato com o polo da pilha, assim com o movimento iniciado, mesmo quando interrompido a corrente elétrica, por inércia a bobina continua girando estabelecendo o contato com o polo da pilha novamente, gerando o campo magnético que por repulsão com o campo do ímã, mantém o movimento da bobina.

AC – **Objetivo:** Discutir os impactos sociais e ambientais do desenvolvimento tecnológico a luz do tripé Física, Tecnologia e Sociedade.

Terras Raras

As terras raras (TR) são elementos essenciais para o desenvolvimento da indústria moderna, sendo usados cada vez mais nos setores ligados à energia, ímãs permanentes, carros híbridos, turbinas eólicas, células foto voltaicas, fósforos, eletrônica fina, trens de alta velocidade, telecomunicações, fabricação de vidros, cerâmicas, craqueamento do petróleo, entre outros. Tornando-se essenciais para a concepção e desenvolvimento de artefatos de alta complexidade constituintes de várias das chamadas “tecnologias verdes”.

Os elementos de terras-raras ou metais de terras-raras (abreviadas como TR) formam um conjunto de 17 elementos químicos que inclui o escândio (símbolo químico Sc), o ítrio (Y) e os 15 elementos da série dos lantanídeos [do lantânio (La) ao lutécio (Lu)].

No Brasil as dificuldades para obter a TR chegaram a ameaçar a fabricação nacional de catalisadores para refino de petróleo. Então o governo brasileiro elaborou o Plano Nacional de Mineração 2030, em que o Ministério de Minas e Energia incluiu as TR entre as prioridades do país para as próximas duas décadas.

Dentre várias das suas aplicações na indústria, ressaltamos os Ímãs de terras raras que possuem diversas finalidades tecnológicas e estas vêm crescendo bastante nos últimos anos, o que pode ser verificado pelo número de patentes de novas formulações. Os ímãs permanentes comerciais mais comuns são samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB).

Esses ímãs possuem uma infinidade de aplicações, podendo ser utilizados em bens de consumo de baixo valor agregado, como roupas e brinquedos, assim como, em bens de alto valor agregado, máquinas elétricas de alto rendimento (motores, relógios, tubos de micro-ondas, transporte e memória de computadores, sensores, geradores, microfones, raios X, imagem de ressonância magnética, separação magnética e outros).

Considerando o volume em todo mundo de TR, o que é destinado para a fabricação de ímãs permanentes fica por volta de 20%, sendo que essa demanda será aumentada conforme a maior empregabilidade de ímãs permanentes em motores para veículos elétricos e híbridos, turbinas eólicas e discos rígidos de acordo com o Instituto Öko, 2011.

Motores que utilizam ímãs de TR tem sido a principal solução adotada para projetos de carros híbridos e elétricos, e não possuem substitutos reconhecidos que podem oferecer o mesmo desempenho. Os ímãs de base de neodímio permitem a miniaturização dos motores para a sua utilização em diversos sistemas auxiliares, assim, o setor de mobilidade elétrica (bicicletas elétricas, scooters e transporte público coletivo) será uma força motriz em termos de crescimento da demanda de ímãs permanentes e terras raras como o neodímio.

Por outro lado, há uma questão que deve suscitar discussões e debates envolvendo a exploração dos elementos de TR, são os seus impactos socioambientais. Esses elementos na verdade não são raros, uma vez que são encontrados em muitos países, porém, são difíceis de extrair em volumes que tornem sua exploração economicamente viável, concentrando a exploração em poucos lugares. Como as tecnologias utilizadas para mineração e beneficiamento de terras raras produzem impactos ambientais severos sobre o meio ambiente, como emissões para a atmosfera e infiltração de rejeitos para águas subterrâneas, provoca grande impacto social sobre os moradores locais. Assim, é necessário desenvolver políticas públicas que venham no sentido de atenuar esses impactos.

Para poder se aprofundar no assunto, sugerimos a leitura dos artigos:

TERRAS RARAS NO BRASIL: HISTÓRICO, PRODUÇÃO E PERSPECTIVAS

TERRAS RARAS: APLICAÇÕES INDUSTRIAIS E BIOLÓGICAS

SOUSA FILHO, Paulo C. de; SERRA, Osvaldo A.. RARE EARTHS IN BRAZIL: HISTORICAL ASPECTS, PRODUCTION, AND PERSPECTIVES. *Química Nova*, [s.l.], v. 37, n. 4, p.753-760, 2014. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140121>.

MARTINS, Tereza S.; ISOLANI, Paulo Celso. Terras raras: aplicações industriais e biológicas. *Química Nova*, [s.l.], v. 28, n. 1, p.111-117, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422005000100020>.

Atividade 5: Apresentação de vídeo “terras raras e o carro elétrico”

Apresentar vídeo sobre terras raras e o carro elétrico em seguida abrir a discussão sobre os vídeos apresentados e correlações com as atividades desenvolvidas.

<https://www.youtube.com/watch?v=oatM88BXeUU> - *Terras raras*

<https://www.youtube.com/watch?v=trhbtrq1Fh0> - *Carro elétrico*

Obs: Após a apresentação do vídeo o professor pode fazer um sumário das atividades desenvolvidas indicando como o vídeo se relaciona com alguns temas abordados durante as atividades. É interessante levar em consideração aspectos local ou/e nacional para a produção do carro elétrico.

Atividade 5.1: Produção de texto

AC – **Objetivo:** Aprofunda a discussão sobre impactos sociais e ambientais do desenvolvimento tecnológico a luz do tripé Física, Tecnologia e Sociedade.

Propor a produção de um texto dissertativo argumentativo sobre o desenvolvimento do carro elétrico e os impactos ambientais na exploração de minerais para sua produção nas áreas de extração, empregando os conhecimentos desenvolvidos durante as atividades e discussões levantadas.

Atividade 6: Discussão do texto dissertativo

Etapa em que todos os estudantes devem ser dispostos em sala em um grande círculo, ensejando um espaço democrático de discussões de ideias e intervenções possíveis para os problemas abordados nos textos dissertativos. O professor pode destacar alguns pontos que considerar pertinente para iniciar a atividade.

Objetivo: Aplicar o conhecimento desenvolvido.

Atividade 7 – Apresentação do motor simples.

Nesta atividade os estudantes irão dispor de um tempo de cinco minutos para apresentar o trabalho desenvolvido abordando os aspectos teóricos envolvidos.

Obs: Esta atividade pode ser aproveitada para apresentação em uma feira de ciências ou uma apresentação específica para a comunidade escolar. Tornando-se assim, um fator motivacional a mais para seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTH, Milton Antônio et al. **Prática Educacional Dialógica em Física via Equipamentos Geradores**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 12, n. 1, p.40-46, abr. 1995.
- BASTOS, F. P. **Alfabetização Técnica na disciplina de Física: uma experiência educacional dialógica**. Florianópolis, UFSC/CED, dissertação de mestrado, 1989.
- BASTOS, F.P. **Pesquisa-ação emancipatória e prática educacional dialógica em ciências naturais**. 1995. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CHAIB, J.P.M.C.; ASSIS, A.k.t. **Experiência de Oersted em sala de aula**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Campinas, v. 29, n. 1, p.41-51, 2007.
- Delizoicov, D. **Ensino de Física e a concepção freiriana da educação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, V.5, n r, p. 85-97, Dez 1983.
- DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal**. Dissertação de mestrado. São Paulo: IFUSP/FEUSP, 1982.
- DELIZOICOV, D. **Problemas e Problematizações**. In: PIETROCOLA, M. (org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, p. 236, 2001.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do Ensino de Ciências** (Coleção Magistério 2º grau. Série Formação do Professor). São Paulo: Cortez, 1992. 207p.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- MARTINS, R. **Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do Eletromagnetismo**. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 5, Número Especial, p. 49-57, 1988.
- MARTINS, R. **Oersted e a descoberta do Eletromagnetismo**. Cadernos de História e Filosofia da Ciência. Vol.10, p.89-114, 1986.
- MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. **A construção de um processo didático pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos**, Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.14, n. 03, p. 199-215, 2012.
- ØRSTED, H. C. **Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética**. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, v. 10, p. 115-122, 1986.
- SAITO, Carlos Hiroo; BASTOS, Fabio da Purificação de. **Tributo a Maurice Bazin: um farol da prática para a liberdade**. Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, [s.l.], v. 11, n. 2, p.279-305, 28 nov. 2018. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2018v11n2p279>.

SILVEIRA, F. L. ; MARQUES, N. L. R.elson Luiz Reyes Marques . **Motor elétrico de indução : 'uma das dez maiores invenções de todos os tempos'**. In: Caderno brasileiro de ensino de física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, p. 114-129, 2012.

APÊNDICE A

Oersted e a descoberta do Eletromagnetismo

Relevância de Oersted

Entre o século XVIII e XIX muitos físicos buscaram compreender as relações entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Com a invenção da pilha de Volta, uma fonte de corrente constante, houve um salto tanto tecnológico quanto nos estudos da eletricidade, fator que instigou ainda mais cientistas a tentarem achar explicações e relações entre os fenômenos. Nesse sentido destaca-se Hans Christian Oersted e sua experiência tratando da corrente elétrica e uma agulha magnética considerada um marco para o eletromagnetismo.

Atribui-se normalmente a Oersted a descoberta da interação entre eletricidade e magnetismo no início do século XIX. Apesar da enorme importância desse fenômeno, a contribuição de Oersted ao eletromagnetismo costuma ser minimizada, por dois motivos principais: Seu trabalho é geralmente descrito como uma descoberta casual; os aspectos quantitativos do fenômeno não foram desenvolvidos por ele, e sim por Ampère, Biot, Savart e outros. (MARTINS, 1986).

Para compreender melhor sua relevância, alguns aspectos de sua vida e formação se fazem relevantes.

Nascido em 14 de agosto de 1777 na Dinamarca, aprendeu desde cedo a escrever em dinamarquês e alemão, além de mais tarde completar seu domínio linguístico em grego, latim, francês e inglês. Lendo todos os livros que conseguia encontrar, adquiriu uma boa formação humanística e na farmácia do pai e através de seus livros, aprendeu química e física.

Em Copenhague, aos 17 anos foi aceito na Universidade, graduou-se como farmacêutico e seus exames finais foram destaque nos anais da Universidade. Doutorou-se em filosofia com uma tese que fazia uma descrição crítica das ideias de Kant. Literatura, ciência e filosofia permearam toda a sua vida, estava ligado aos mais importantes círculos de Copenhague, nas áreas científica, artística e política.

No ano de 1800 tornou-se farmacêutico adjunto da Faculdade de Medicina e na mesma época, após a ampla divulgação dos trabalhos de Volta, começou a fazer experiências sobre a pilha e sobre eletricidade. Logo em seguida, obteve uma espécie de bolsa de estudos no exterior, que lhe permitiu entre os anos de 1801 a 1803, visitar a Alemanha, Holanda e França, estabelecendo vários contatos com cientistas e intelectuais de renome. Tornou-se amigo de expoentes da “Naturphilosophie” germânica, (via o universo como um todo interagente e buscava a unificação dos fenômenos da natureza, e.g., química, luz, calor, eletricidade e magnetismo) como Schelling e Ritter (MARTINS, 1986).

Em Paris conheceu os primeiros laboratórios públicos do mundo, audaciosamente comprometeu-se ajudar a criar uma instituição semelhante na Dinamarca, o que ocorreu em 1829, tornando-se o primeiro diretor da Escola Politécnica de Copenhague.

Em 1804, retornando a Dinamarca, começou a lecionar Física na Universidade tornando-se professor extraordinário em 1806 e ordinário 1917. Realizou pesquisas em vários campos, Física, Química, Filosofia entre outros e devido a sua intensa atividade foi nomeado como Secretário Vitalício da Academia de Ciências de Copenhague em 1814, pouco depois, o Rei nomeou-o Cavaleiro da Ordem de Danneborg. Tudo isso mostra que Oersted não era um pesquisador obscuro ou incompetente.

Precedentes da descoberta

Inicialmente os fenômenos de eletricidade e magnetismo eram tratados de maneira isolada, por diferentes áreas da Física.

Em 1550, o matemático G. Cardano diferenciou claramente os fenômenos elétricos dos fenômenos magnéticos, estabelecendo a diferença entre as propriedades do âmbar e do ímã. Já havia descrições isoladas na época da Grécia sobre o âmbar do qual deriva a palavra eletricidade.

William Gilbert, a partir do final do século XVI contribuiu de forma significativa para o estudo dos fenômenos elétricos, percebeu que outras substâncias se comportavam de maneira semelhante ao âmbar, afirmou que estes corpos, emitiam um effluvium, de natureza material que seria liberado pelo calor produzido no corpo por fricção, este effluvium expandia-se em todas as direções e agia sobre os corpos vizinhos atraindo-os. Podemos notar nas concepções de Gilbert uma primitiva semelhança à teoria de campos. Pouco se evoluiu no estudo da eletricidade durante o século XVII após Gilbert.

Somente no início do século XVIII que a eletricidade deixou de ser tratada como “uma curiosidade de laboratório”, sendo retomada como assunto de pesquisa a partir dos fenômenos da condução e indução elétrica, estudados por Stephen Gray.

Em 1734, Du Fay estabeleceu a existência de duas eletricidades, a vítrea e a resinosa, que se refletiu na teoria dos dois fluídos. Datam também desta época as experiências de Benjamin Franklin e Aepinus sobre a eletrização por influência. Em contraposição a teoria dos dois fluídos, Franklin, em 1747, criou a teoria do fluído único. Segundo essa teoria, existia um fluído elétrico que poderia estar em excesso ou em falta nos corpos eletrizados. Quando em excesso, o corpo estaria eletrizado positivamente e quando em falta, negativamente. Já para Euler, com outra interpretação, a matéria elétrica é o Éter, fluído mais sutil e elástico que o ar (ASSIS; CHAIB, 2007)

Entretanto, foi com base na teoria dos dois fluídos que Coulomb publicou seus estudos e graças aos seus trabalhos que se chegou a importantes conceitos matemáticos como o de potencial, devido a Gauss. Dele foi-se abrindo caminho à noção fundamental de campo elétrico.

A ciência que estudava as correntes elétricas era denominada galvanismo. Foi nessa área que Ohm realizou os estudos que chegaram as suas conhecidas leis. Até o século XVIII pouco

se sabia sobre o Magnetismo. As primeiras observações relacionadas à capacidade do ímã de se direcionar sempre de determinada maneira foram realizadas na China.

Sobre a atração entre o ímã e o ferro, Gilbert acreditava que as propriedades magnéticas do ímã, embora de natureza imaterial, sempre ocupavam o espaço em sua volta, ou seja, os ímãs criavam uma “esfera de influência” em torno deles, o que novamente nos induz a noção de campo. Gilbert também explicou o significado das observações com relação à declinação das agulhas magnéticas, adiantando a hipótese de a Terra ser um ímã.

O que os estudos mostram é que, no início do século XIX, o conceito que se tinha entre os físicos é que havia uma relação entre eletricidade e magnetismo, mas não se sabia exatamente qual.

Oersted tinha motivos filosóficos para acreditar na unidade das forças naturais. Ele acreditava que o Universo era um todo orgânico, como um ser vivo, e dotado de uma alma ativa, geradora das forças naturais. Enquanto a maioria dos físicos empenhados nesta pesquisa concentrava sua visão na eletrostática, Oersted voltava-se para a corrente elétrica. Ele era adepto da teoria dos dois fluídos, a corrente transportaria cargas opostas em sentidos opostos. Isto geraria um “conflito elétrico”, pois haveria pontos de atração e repulsão entre estas cargas e, em consequência, um movimento oscilatório. (ORTIZ; BATISTA, 2009).

O eletromagnetismo foi descoberto em 1820, quando Oersted, em um curso sobre eletricidade, galvanismo e magnetismo, diante de uma audiência familiarizada com os princípios da filosofia natural, colocou a agulha imantada de uma bússola próxima a um fio conduzindo corrente elétrica e verificou que esta interação produzia um torque na agulha, posicionando-a quase que perpendicularmente ao fio condutor;

Ao tratar da analogia entre eletricidade e magnetismo, Oersted imaginou que o efeito magnético poderia irradiar do fio como luz e calor e que “se fosse possível produzir algum efeito magnético pela eletricidade, isto não poderia ser na direção da corrente, pois isto tinha sido tentado em vão, mas, que deveria ser produzido por uma ação lateral”.

Portanto, “como o efeito luminoso e o calor da corrente elétrica saem em todas as direções do condutor, que transmite uma grande quantidade de eletricidade; ele [Oersted] pensou ser possível que o efeito magnético poderia de maneira semelhante irradiar do fio”. (MARTINS, 1986).

Desta forma, ele descobriu a lei fundamental do eletromagnetismo, que “o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular ao redor do fio condutor”. Observe-se que Oersted buscava uma relação entre as grandezas elétricas e magnéticas, e sua descoberta não foi fruto do acaso, como se costuma difundir, baseando-se em uma carta de Hansteen a Faraday, escrita muito após a experiência crucial.

Referências

CHAIB, J.p.m.c.; ASSIS, A.k.t. Experiência de Oersted em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Campinas, v. 29, n. 1, p.41-51, 2007.

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

ORTIZ, A. J. ; BATISTA, I. L. . Os Caminhos da Física - O Eletromagnetismo de Cardano a Maxwell. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória - ES. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física [**Anais...**], 2009. v. 1. p. 1-12.

APÊNDICE B

Campo magnético produzido por corrente elétrica

•

•1

Hans Christian Oersted - 1820

A DESCOBERTA DO ELETROMAGNETISMO

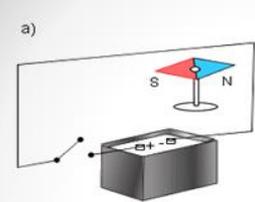
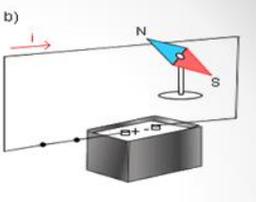
Eletromagnetismo é o nome da teoria unificada desenvolvida por James Maxwell para explicar a relação entre a eletricidade e o magnetismo. Esta teoria baseia-se no conceito de *campo eletromagnético*.



Imagem: Hans Christian Oersted, L. Autor: Diego Nunes

•

•2

a)  b) 




Carga em Repouso
Campo Elétrico

Carga em Movimento
Campo Elétrico e Campo Magnético

•

•3

Experiência de Oersted

- Quando a corrente elétrica " i " se estabelece no condutor, a agulha magnética assume uma posição perpendicular ao plano definido pelo fio e pelo centro da agulha.

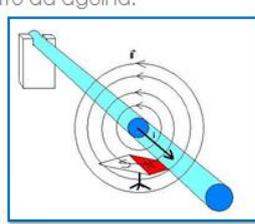


Imagem: Especificações de Central / Autor: Desconhecido / Direitos Reservados. Atribuição-Reutilização em Tempo de Mesma Licença 2.5 Genérica

•

•4

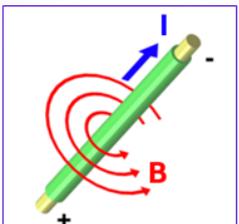


Imagem: Autor: Inscricao/CHU/Free Doc/under/CC BY/NC/SA

- Em cada ponto do campo o vetor B é perpendicular ao plano definido pelo ponto e o fio.
- As linhas de indução magnética são circunferências concêntricas com o fio.
- O vetor B é tangente em cada ponto das linhas de indução magnética.

•

•5

Sentido das Linhas de força do Campo Magnético

- O sentido das linhas de força do campo magnético gerado por corrente elétrica foi estudado por Ampère, que estabeleceu a regra para determiná-lo, conhecida como *regra da mão direita*.
- Segure o condutor com a mão direita e aponte o polegar no sentido da corrente. Os demais dedos dobrados fornecem o sentido das linhas e consequentemente o sentido do *vetor campo magnético* (\vec{B}).
- O sentido da corrente determina o sentido das linhas e também do vetor campo magnético.

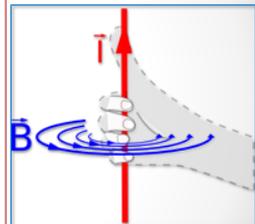


Imagem: Regra da mão direita / Autor: Desconhecido / Public Domain

•

•6

Linhas de Indução e o vetor Campo Magnético para o Condutor Retilíneo

- Vista em perspectiva
- Vista de cima
- Vista de lado

Imagem: Talos / Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

Imagem: Autor Desconhecido / GNU Free Documentation License

Imagem: SBFPE, rediseñado a partir de Imagem de AMB Encarnação.

Imagem: Regra de mão direita / Autor Desconhecido / GNU Free Documentation License

$\odot \Rightarrow$ Grandeza orientada do plano para o observador (saíndo do plano)
 $\otimes \Rightarrow$ Grandeza orientada do observador para o plano (entrando no plano)

7

Intensidade do vetor campo magnético – Condutor Retilíneo

- A intensidade do **vetor campo magnético**, produzido por um condutor retilíneo pode ser determinada pela Lei de Biot-Savart

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

$i \Rightarrow$ corrente em ampère (A)
 $d \Rightarrow$ distância do ponto ao condutor, perpendicular a direção do mesmo em metros(m)
 $\mu_0 \Rightarrow$ permeabilidade magnética do vácuo.

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

8

Exemplo

- Um condutor reto e extenso no vácuo é percorrido por uma corrente de 5A. Calcule o valor da intensidade do vetor indução magnética em um ponto P que dista 20cm do condutor. Indique o sentido do vetor.

9

Solução

- Pela regra da mão direita, o vetor tem o sentido indicado na figura a seguir:

Imagem: Regra de mão direita / Autor Desconhecido / GNU Free Documentation License

Vista em perspectiva

Dados:
 $\Rightarrow i = 5A$
 $\Rightarrow d = 20\text{cm} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$
 $\Rightarrow \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$

- A intensidade de B vale:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow B = 5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

10

Campo Magnético em uma Espira Circular

Imagem: SBFPE, rediseñado a partir de Imagem de Autor Desconhecido.

Módulo

$$B = \frac{\mu_0 i}{2r}$$

Direção e Sentido
Regra da Mão Direita

$B =$ Campo magnético (Tesla $^{\circ}T$)
 $\mu_0 =$ Permeabilidade magnética do vácuo ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)
 $r =$ raio da espira (metro "m")
 $i =$ corrente elétrica

11

Campo Magnético em uma Bobina Chata

- Uma bobina chata é constituída de várias espiras justapostas.
- A intensidade do **vetor B** no centro da bobina vale:

$$B = N \cdot \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R}$$

$N \Rightarrow$ Número de espiras

Imagem: SBFPE, rediseñado a partir de Imagem de Autor Desconhecido.

12

Polos de uma Bobina Chata

Aproximando-se um ímã de uma bobina, verifica-se que o polo norte daquele atrai o sul da bobina, repelindo o norte da mesma.

Imagem: SEEPE, redenhado a partir de Imagem: Autor Desconhecido.

Força Magnética de Lorentz

Módulo da Força Magnética

$$F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta$$

A direção da força magnética é sempre perpendicular ao plano formado pelos vetores velocidade e campo magnético.

Fio Retilíneo em Campo Magnético

Força Magnética para Carga

$$F_M = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta \quad F_M = q \cdot v \cdot B$$

Força Magnética para Fio

$$F_M = B \cdot i \cdot L \cdot \text{sen}\theta \quad F_M = B \cdot i \cdot L$$

Espira em Campo Uniforme

Rotação

Espira em Campo Uniforme

espira
comutador
escova

Tabela de Imagens

Slide	Autoria / Licença	Link de Fonte	Data do Acesso
2	Hans Christian Ørsted / Autor: Dierge Darion	Arquivo pessoal	
4	Autor Desconhecido / GNU Free Documentation License	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rechteh_and.png?uselang=pt-br	09/04/2012
6	Regra da mão direita / Autor Desconhecido / Public Domain	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Right_h_and_rule.png	05/04/2012
7a	Ísis / Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gerader_Letzer.svg	11/04/2012
7b	Autor Desconhecido / GNU Free Documentation License	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFPt_wilze_out.svg?uselang=pt-br	11/04/2012
7c	SEE-PE, redenhado a partir de imagem de Autor Desconhecido.	Acevo SEE-PE.	17/04/2012
8	Regra da mão direita / Autor Desconhecido / GNU Free Documentation License	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manode_recha.svg	11/04/2012
10	Regra da mão direita / Autor Desconhecido / Public Domain	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Right_h_and_rule.png	05/04/2012
12	SEE-PE, redenhado a partir de imagem de Autor Desconhecido.	Acevo SEE-PE.	17/04/2012
13	SEE-PE, redenhado a partir de imagem de Autor Desconhecido.	Acevo SEE-PE.	17/04/2012
17	Imagem: Esquema de um motor CC "COM" escovas.	http://www.c2o.pro.br/automacao/apk.html	18/09/2018

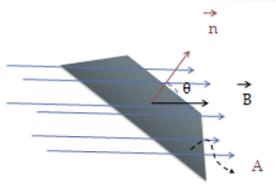
APÊNDICE C

Fluxo Magnético

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

Onde:

- $\Phi \equiv$ Fluxo magnético
- $B \equiv$ Módulo do campo magnético
- $A \equiv$ Área da superfície
- $\theta \equiv$ Ângulo entre \vec{n} e \vec{B}



O fluxo magnético é a medida da quantidade de linhas de indução que atravessam uma superfície em função do tempo. É dado pelo produto entre o campo magnético, a área da superfície e o cosseno do ângulo formado entre o campo e o vetor normal à superfície.

•1

Propriedades do Fluxo Magnético

Podemos variar o fluxo magnético de várias maneiras:

1. Variando a intensidade B do campo de indução magnética.
2. Variando a área A da superfície.
3. Girando a superfície, variando o ângulo θ entre o vetor normal à superfície e o vetor campo magnético.

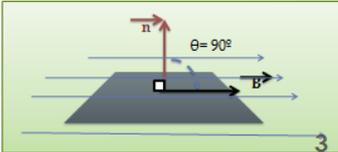
• **Obs.:** A unidade de medida do Fluxo Magnético no S.I. é o **weber (Wb)** (Onde: $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$). Logo, temos $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$

•2

Fluxo Magnético: Caso Particular ($\theta = 90^\circ$)

Neste caso, temos:
 $\Phi = B \cdot A \cdot \cos 90^\circ$ e, como $\cos 90^\circ = 0$, então o fluxo é nulo.

Observe na figura abaixo que nenhuma linha de indução magnética atravessa a superfície.

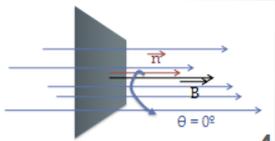
$$\Phi = 0 \rightarrow \text{NULO}$$


•3

Fluxo Magnético: Caso Particular ($\theta = 0^\circ$)

Neste caso, temos:
 $\Phi = B \cdot A \cdot \cos 0^\circ$ e, como $\cos 0^\circ = 1$, então, $\Phi = B \cdot A$, o que implica dizer que o fluxo é MÁXIMO.

Observe na figura abaixo que todas as linhas de indução magnética atravessam a superfície.

$$\Phi = B \cdot A \rightarrow \text{MÁXIMO}$$


•4

Michael Faraday (1791–1867)



Químico e Físico inglês conhecido pelas suas experiências pioneiras no campo da Eletricidade e do Magnetismo.

•5

Breve Histórico

Faraday, baseando-se nos trabalhos de Oersted e Ampère, o qual analisava que correntes elétricas em circuitos produziam campos magnéticos, começou a investigar o efeito inverso do fenômeno por eles estudado.

•6

Indução Magnética

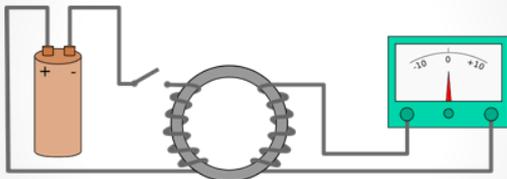


Imagem: Hypercube / Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication

Faraday descobriu que um campo magnético variável próximo a uma bobina e ligada a uma galvanômetro, acusa a passagem de corrente elétrica.

.7

Indução Magnética

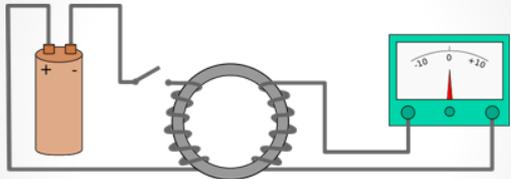


Imagem: Hypercube / Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication

Esse efeito de produção de uma corrente em um circuito, causado pela presença de um campo magnético, é chamado de INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA e a corrente elétrica que aparece é denominada de CORRENTE INDUZIDA.

.8

Indução Magnética

Existem vários modos de se obterem correntes induzidas em um circuito:

1. O circuito pode mover-se em relação a um campo magnético, de modo que o fluxo magnético através da área do circuito varie no decorrer do tempo.
2. Pode-se variar a área do circuito de tal modo que o fluxo do campo magnético através do circuito varie no tempo.
3. O campo magnético dirigido para a superfície pode ser variável no tempo.

.9

Lei de Faraday

Ao variarmos o fluxo magnético que atravessa uma espira, é criada uma força eletromotriz induzida (ϵ) que é dada pela taxa de variação do fluxo magnético em função do tempo.

$$\epsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Onde: $\left\{ \begin{array}{l} \epsilon \equiv \text{Força eletromotriz (fem)} \\ \Delta\Phi \equiv \text{Variação do fluxo magnético} \\ \Delta t \equiv \text{Intervalo de tempo} \end{array} \right.$

• Obs.: Se verificarmos as unidades de medida dessas grandezas no S.I., percebemos que:

$$[\epsilon] = \frac{[\Delta\Phi]}{[\Delta t]} \Rightarrow \text{volt} = \frac{\text{weber}}{\text{segundo}} \Rightarrow 1V = \frac{1Wb}{1s}$$

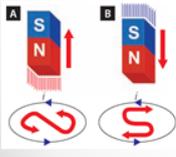
.10

Lei de Faraday

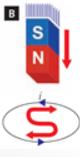
$\epsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Lei de Lenz

O sinal negativo na expressão da lei de Faraday descreve um resultado conhecido como lei de Lenz: "A corrente induzida em um circuito aparece sempre com um sentido tal que o campo magnético criado tende a contrariar a variação do fluxo magnético através da espira".



A



B

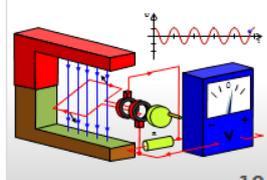
O ímã em [A] se afasta da espira, e o sentido da corrente, de acordo com a regra da mão direita, é horário, para compensar (naturalmente) a diminuição do fluxo magnético. Em [B], o sentido da corrente induzida é anti-horário, para reverter o aumento do fluxo para baixo.

.11

Aplicação: Gerador de Corrente Alternada

Em qualquer unidade de produção de energia elétrica (usina hidroelétrica, usina termoeletrica, usina nuclear, etc.) existe sempre um circuito que se coloca em rotação numa região onde existe um campo magnético.

Ao girar a espira, varia-se o fluxo magnético que a atravessa, criando, assim, uma fem induzida, de acordo com a Lei de Ampère.



.12

ANEXO A

O motor elétrico

Em menos aparelhos domésticos ou nas grandes indústrias ele mudou radicalmente a vida cotidiana: complicadas atividades se transformaram no simples ligar e desligar de um botão

Gisela Heymann

Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/o-motor-eletrico/>

Até por volta dos anos 20, todo passeio de automóvel começava com uma desconfortável ginástica: alguém devia curvar-se em frente ao carro e girar com força uma manivela. A função dessa peça indispensável era dar a partida no motor, ou seja, executar seu primeiro movimento, tirando-o da imobilidade; depois o combustível faria o resto. Desde então, porém, a manivela foi aposentada e o exercício do motorista não passa de um leve virar da chave no contato, que aciona um pequeno motor alimentado por uma bateria. O motor substituiu a manivela. Assim como esses motoristas tiveram seus esforços poupados, as donas de casa trocaram a força física pelo simples ato de ligar uma tomada.

De fato, é quase impossível imaginar a vida sem as engenhocas elétricas que povoam a paisagem doméstica: liquidificadores, aspiradores, máquinas de lavar e secar, toca-discos, geladeiras etc. Para além do restrito território de um apartamento, os elevadores são imprescindíveis, assim como os portões eletrônicos das garagens e as escadas rolantes de uma loja. Um pouco mais longe, nas indústrias, a evolução não foi muito diferente: para produzir todas essas máquinas, outros equipamentos foram criados. Embora enormes e muito diferentes em aparência de um pequeno secador de cabelos, por exemplo, a maioria deles utiliza o mesmo sistema básico de funcionamento: o de um motor elétrico. Ele transforma a energia elétrica em energia mecânica, como o girar das pás de um ventilador.

Em 1820, o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) não imaginou que com uma singela experiência descobriria um princípio físico fundamental para o funcionamento desse tipo de motor. Oersted passou uma corrente elétrica, gerada por uma pilha, por um fio condutor e depois aproximou desse fio uma bússola; a agulha, que é um ímã (uma barra magnética), mexeu-se e alinhou-se perpendicularmente ao fio. Para o cientista, o fato só poderia dizer uma coisa: em volta do fio havia um campo magnético, que agiu sobre o outro campo, o da agulha.

Com isso, estabeleceu-se pela primeira vez a relação entre eletricidade e magnetismo. O físico francês André-Marie Ampere (1775-1836), um gênio da Matemática, após tomar conhecimento das experiências do dinamarquês, começou a formular uma lei do

eletromagnetismo, chegando à conclusão de que as linhas de força criadas pelo fio eletrizado – o campo magnético – são circulares, ou seja, formam uma espécie de cilindro invisível em volta do condutor. Até então, pensava-se que o campo magnético caminhava apenas em linha reta, de um ímã para outro. Também pesquisando a ligação entre eletricidade e magnetismo, estava o inglês Michael Faraday (1791-1867).

Nascido em Newington, perto de Londres, ele era físico e químico, mas de formação teórica precária. Por isso, valorizava a experiência como prova dos fenômenos naturais. Graças à sua curiosidade e a metódicas experiências, ele pôde demonstrar em 1822 o campo magnético circular. Faraday encheu com mercúrio – um metal condutor – duas taças especialmente desenhadas, de modo a ter um fio elétrico saindo do seu fundo. Numa delas fixou verticalmente uma barra magnetizada. Na outra, deixou frouxo outro magneto. Na primeira taça, quando um fio elétrico pendurado acima da taça tocava o mercúrio, fechando o circuito, esta se punha a girar em volta do ímã. Na outra taça, onde o fio estava frouxo, quando ligado à corrente o magneto girava em torno do fio central. Este foi o primeiro motor elétrico, o autêntico ancestral das máquinas de hoje.

Nove anos depois, Faraday notou que se colocasse um ímã dentro de uma bobina, em cujo fio passasse energia elétrica, este se moveria de forma a acompanhar as linhas de força da bobina; demonstrou assim que uma bobina eletrizada é também um ímã. Se colocarmos uma bobina entre dois ímãs fixos, sem tocar neles, ela aponta seu pólo norte para o pólo sul do ímã e vice versa. Mas, como os pólos da bobina são determinados pelo sentido da corrente que passa pelo fio, quando o invertemos, os pólos também se invertem, o que faz com que a bobina se mova novamente. Se essa inversão da corrente for constante, ela não para de girar. Na época de Faraday, como a única fonte de energia elétrica disponível era a de uma pilha, de corrente contínua, a mudança de sentido da corrente se dava através de um sistema chamado comutador, até hoje usado em brinquedos e outros pequenos motores.

Este é o princípio do funcionamento do motor elétrico. Para que o movimento aconteça, é preciso que haja uma interação entre os campos magnéticos de um estator (parte fixa do sistema) e um rotor (parte móvel). Depois de Faraday, muitos outros cientistas começaram a especular sobre o fenômeno da eletricidade. O engenheiro-eletricista e inventor belga Zénobe Théophile Gramme construiu, em 1869, um motor que também se comportava como gerador – a máquina inversa. Ou seja, quando ligada a uma corrente elétrica, produzia energia motora. E, quando movida por uma força motora, produzia energia elétrica. O invento foi chamado dínamo Gramme e apresentado em Viena em 1873. Alguns anos depois, foi exposta na Universidade Técnica de Graz, na Áustria, onde encantou o aluno iugoslavo Nikola Tesla.

Físico e engenheiro, Tesla começou a pesquisar novos aperfeiçoamentos para o engenho, que já fazia enorme sucesso. Em 1883, apresentou o primeiro gerador de corrente alternada – aquela cujos pólos se invertem. A partir de então, a corrente passou a ser gerada de forma alternada, como as que hoje chegam às tomadas. A seguir, inventou o motor elétrico sem comutador. No entanto, a corrente alternada – que viria a ser a outra grande revolução na eletricidade – não causou o impacto esperado por Tesla na comunidade científica europeia da época. Isso forçou o pesquisador a procurar novas oportunidades nos Estados Unidos, onde chegou em 1884. No mesmo ano, vendeu os direitos de patente das invenções a um certo George Westinghouse, dono de uma companhia elétrica que levava seu nome.

O sistema Tesla-Westinghouse, como viria a ser conhecido, foi utilizado pela primeira vez na iluminação da World's Columbian Exposition, uma feira montada em Chicago, em 1893, para celebrar o quarto centenário do descobrimento da América. O sucesso foi tanto que a companhia de Westinghouse acabou contratada meses depois para instalar geradores elétricos pela primeira vez nas cataratas do Niágara. Depois da invenção da corrente alternada, muitos outros aperfeiçoamentos foram introduzidos nos motores elétricos. Por exemplo, em vez de apenas dois pólos no estator, alguns novos motores têm uma sequência de vários ímãs muito próximos, o que aumenta a uniformidade do movimento. Em casos como o do toca-discos, o avanço melhora muito a qualidade do som. As pesquisas apontam agora para outra revolução: os supercondutores (SUPERINTERESSANTE n.º 1). Sem desperdiçar energia, esses fios de cerâmica tornariam os motores muito mais potentes. Mas isso faz parte do futuro. De qualquer forma, o princípio fundamental continua o mesmo – por sinal, algo muito simples, embora tenha modificado radicalmente a vida das pessoas.