

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO

Ajax Rosas



Produto Educacional

Mestrado em Ensino de Física



Autor:

Ajax Wellington Parente Rosas

Orientador:

Prof. Dr. Eder Nascimento Silva

Capa e Contracapa:

Pedro Fontes

Figura da capa:

Ajax Wellington Parente Rosas

São Luís - MA

2020

© Ajax Wellington Parente Rosas e Eder Nascimento Silva – 2020.
O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

APRESENTAÇÃO

Neste trabalho, procuramos mostrar os reflexos e contribuições que a prática experimental possibilita para os estudantes na construção de uma aprendizagem significativa. Nesse sentido, a proposta desse projeto possibilita vincular princípios de funcionamentos de equipamentos do nosso cotidiano aos conteúdos do Eletromagnetismo.

A proposta dessa Sequência didática é sustentada com a realização de um levantamento diagnóstico, com o objetivo de determinar o nível de conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo a ser estudado. Num momento seguinte, propõe-se aos mesmos, realizarem atividades experimentais em sala de aula, construindo vários experimentos com matérias de baixo custo, como forma de facilitar a compreensão dos princípios básicos de funcionamento de cada um deles. Para o fechamento do ciclo, temos a aula expositiva dialogada, para que o aluno a confronte com o conhecimento adquirido nas etapas anteriores. Essa metodologia visa mostrar ao aluno que a Física está presente nas atividades do dia a dia.

O manual instrucional está dividido em quatro partes: inicia-se com uma breve introdução sobre o produto educacional; em seguida, um resumo teórico sobre tópicos de Eletromagnetismo; na terceira parte, orientações para a construção da sequência didática, apresentando questionários e roteiros das atividades para aplicação em sala; e por fim, uma mensagem ao(a) professor(a).

SUMÁRIO

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 6 |
| 2 | TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO | 7 |
| 2.1 | Apanhado Histórico do Magnetismo | 7 |
| 2.2 | Ações de um campo magnético sobre cargas elétricas | 9 |
| 2.3 | Força Magnética Sobre uma Corrente | 10 |
| 2.4 | O campo magnético de uma corrente elétrica | 13 |
| 2.5 | O campo magnético de uma corrente estacionária..... | 14 |
| 2.6 | Campo Magnético em um Solenoide | 16 |
| 2.7 | Fluxo da Indução Eletromagnética | 19 |
| 3 | A SEQUÊNCIA DIDÁTICA..... | 21 |
| 3.1 | Primeiro Encontro | 23 |
| 3.2 | Segundo Encontro..... | 25 |
| 3.3 | Terceiro Encontro..... | 26 |
| 3.4 | Quarto Encontro | 27 |
| 3.5 | Quinto Encontro | 28 |
| 3.6 | Sexto Encontro | 29 |
| 3.7 | Sétimo Encontro | 31 |
| 3.8 | Oitavo Encontro..... | 33 |
| 3.9 | Nono Encontro..... | 33 |
| 3.10 | Decimo Encontro | 35 |
| 4 | MENSAGEM AO PROFESSOR..... | 36 |
| | REFERÊNCIAS | 37 |

1 INTRODUÇÃO

O Eletromagnetismo estuda o conjunto de fenômenos relacionados a junção entre a eletricidade e o magnetismo, e está presente no nosso cotidiano, no avanço tecnológico, no funcionamento dos mais diversos aparelhos e equipamentos eletroeletrônicos, nos acontecimentos naturais, entre outros. Apesar dos avanços educacionais, as muitas aplicações não são muito exploradas no ensino da Física, onde as aulas, com certa frequência, são conduzidas com uma carga teórica muito grande, ocasionando um excesso de memorização e a falta de uma aprendizagem significativa.

Segundo Sales (2012), a vantagem na pesquisa de pequena escala conduzida pelo professor é que ele conhece a realidade da escola em que leciona, acompanha o dia a dia dos estudantes, depara-se constantemente com indisciplina, dificuldade de operacionalização dos objetivos, avaliação continuada, pressão das turmas lotadas, sobrecarga de trabalho etc. Com o intuito de prover um meio de ensino ao professor, este material tem o formato de uma Sequência Didática que propõe uma forma facilitadora do ensino do Eletromagnetismo para que o aluno supere o desânimo e seja motivado ao querer aprender os conteúdos da Física. Pois, estas dificuldades são desafios que podem ser superados pelos professores com a inserção em sala de aula de métodos que proporcione uma aprendizagem significativa. Assim, esse trabalho apresenta uma proposta de aprendizagem por meio de atividades experimentais com matérias de baixo custo, como mecanismo facilitador da aprendizagem para o aprendiz.

As atividades são propostas para serem desenvolvidas em dez encontros com o objetivo de associar os conteúdos abordados de forma teórica com a prática experimental para estimular o interesse dos alunos e, assim, contribuir para uma aprendizagem significativa e crítica no processo ensino aprendizagem.

2 TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO

Nesta seção são abordados os conteúdos básicos de Física que estão relacionados com a sequência didática apresentada neste trabalho. O produto educacional desenvolvido é direcionado para utilização de uma sequência didática em turmas do terceiro ano do Ensino Médio, que geralmente, abordam o estudo de Eletromagnetismo e de Física Moderna, em sua matriz curricular. No período compreendido da pesquisa, que ocorreu no quarto bimestre do ano de 2018, o professor trabalhou os conteúdos de Eletromagnetismo. Nesse sentido, desenvolvemos neste capítulo um breve resumo dos assuntos de Eletromagnetismo abordados na sequência didática. Iniciamos fazendo um apanhado histórico que abrange, desde a descoberta dos primeiros ímãs até os experimentos que indicavam uma junção da Eletricidade com o Magnetismo. Discutiremos, também, sobre os campos magnéticos e suas leis e finalizaremos o capítulo explicando o fenômeno da indução eletromagnética.

O Eletromagnetismo é a denominação que é dada ao conjunto de teorias que Maxwell¹, apoiado em outras descobertas experimentais, desenvolveu e unificou para explicar a relação mútua existente entre os efeitos elétricos e magnéticos.

2.1 Apanhado Histórico do Magnetismo

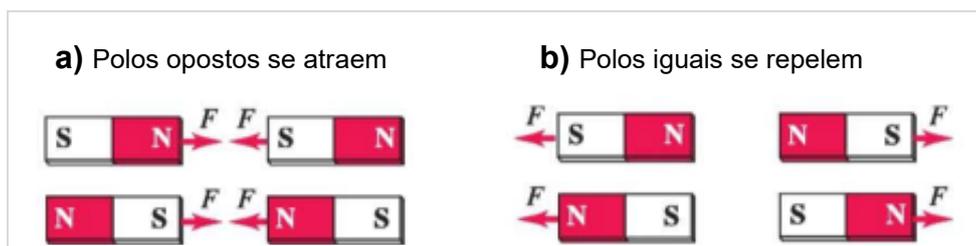
Já na Grécia antiga se conheciam as propriedades de um minério de ferro encontrado na região da Magnésia, a magnetita (Fe_3O_4); um pedaço de magnetita é um ímã permanente, que atrai pequenos fragmentos de ferro (NUSSENZVEIG, 1997). Entre as utilidades da magnetita, temos o uso das bússolas, que foram usadas pelos chineses para navegação, em meados do século XII.

Em 1269, o engenheiro francês Pierre de Maricourt descobriu que uma agulha disposta em várias posições sobre um ímã esférico natural reorienta-se ao longo das

¹ James Clerk Maxwell, (1831-1879), foi um matemático e físico teórico escocês. Antes de completar 20 anos, já havia se graduado em Filosofia Natural pela Universidade de Edimburgo. Em 1850, foi para a Universidade de Cambridge, onde pós graduou-se em Matemática, e começou a se interessar pelas equações do Eletromagnetismo. Em 1873, publicou o “Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo”, que apresentava pela primeira vez as equações diferenciais parciais que hoje levam seu nome (TORRES, p. 118, 2016).

linhas que passam através de pontos nas extremidades opostas as da esfera. Ele chamou estes pontos de polos do ímã (TIPLER, 2011). Observaram-se em experimentos seguintes que, um ímã permanente possui dois polos, que denominamos de polo norte (N) e polo sul (S) e que, dois ímãs podem se repelir ou se atrair, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Atração e repulsão dos polos de um ímã



Legenda: a) Quando os polos opostos (N e S, ou S e N) de um ímã estão muito próximos, ocorre atração entre os ímãs. b) Quando os polos iguais (N e N, ou S e S) de um ímã estão muito próximos, ocorre repulsão entre os ímãs. Fonte: Young; Freedman. 2015.

Poderíamos, então, pensar em descrever o magnetismo produzido por ímãs permanentes de forma análoga à eletrostática, introduzindo cargas magnéticas N e S por analogia com cargas elétricas positivas e negativas (NUSSENZVEIG, 1997). Mas existe uma importante diferença entre os fenômenos com as cargas elétricas e os polos magnéticos. Segundo Nussenzveig (1997), polos magnéticos não podem ser encontrados isoladamente, ou seja, um polo jamais existe sem a presença do outro. Quando se divide um ímã ao meio, cada metade se comporta como um novo ímã, possuindo os dois polos.

Em 1600, William Gilbert, publicou um importante tratado sobre magnetismo, onde observava, pela primeira vez, que a própria Terra atua como um grande ímã (NUSSENZVEIG, 1997). Ele deduziu, em seu livro “De Magnete” de 1600, que a Terra possuía polos magnéticos próximos aos polos sul e norte geográficos, ou seja, se colocássemos uma bússola nas proximidades do nosso planeta, a agulha imantada se orientaria de tal modo que, no polo sul magnético seria o polo norte geográfico.

Apesar dos esforços de William Gilbert, para encontrar ligações entre o magnetismo e a eletricidade, essas duas ciências permaneceram isoladas por mais de dois séculos, até que por volta de 1820, um professor de ciências dinamarquês chamado Hans Christian Oersted descobriu, durante uma demonstração em sala de

aula, que a corrente que flui em um condutor pode defletir a agulha de uma bússola. (HEWITT, 2015). Com essa evidência, ele contribuiu para que a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos existia. Com isso, tivemos a junção da eletricidade com o magnetismo, resultando no começo do estudo do Eletromagnetismo.

Um bom exemplo da relação entre magnetismo e eletricidade é verificado através do conceito de força. As forças que os ímãs exercem entre si possuem comportamentos semelhantes às forças elétricas, pois elas também podem atrair ou repelir sem que necessariamente as partes se toquem, dependendo de quais extremidades dos ímãs estão mais próximas (HEWITT, 2015). Enquanto as cargas elétricas são centrais para as forças elétricas, no magnetismo não há cargas magnéticas isoladas, e sim, funcionando como um dipolo magnético².

2.2 Ações de um campo magnético sobre cargas elétricas

A experiência mostra que quando temos duas cargas elétricas em repouso, aparece entre elas, uma força, de natureza elétrica, chamada força eletrostática. Mas se elas estiverem se movendo, uma carga elétrica exercerá uma força, de natureza magnética, sobre a outra carga. Assim, uma carga em movimento cria na região em torno dela um campo magnético, o qual atuará sobre a outra carga, que também está em movimento, exercendo sobre ela uma força magnética (LUZ, 2013). Esta força magnética possui uma característica direcional estranha: em qualquer ponto no espaço, tanto a direção, quanto à magnitude desta força, dependem da direção do movimento da partícula. Verifica-se que a força é perpendicular ao vetor velocidade \mathbf{v} ao campo magnético. Além disso, a força é proporcional à carga e à componente da velocidade a esta direção. Este comportamento descreve o que definimos de vetor campo magnético \mathbf{B} . Quando uma partícula de carga q e velocidade \mathbf{v} está em uma região com um campo magnético \mathbf{B} , uma força magnética \mathbf{F} é exercida na partícula, dada por:

$$\mathbf{F}_M = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}. \quad (1)$$

² Não existe uma carga ou polo magnético isolado, ou seja, não há nenhuma maneira de dividir o dipolo magnético em polos separados, portanto, o dipolo é a menor unidade fundamental do magnetismo. Está é uma diferença entre os dipolos elétricos e magnéticos, uma vez que os dipolos elétricos podem ser separados em seus elementos constituintes (carga positiva e negativa) (FARIA, 2005, p. 13).

Então, a força eletromagnética total numa carga, pode ser escrita como:

$$\mathbf{F}_L = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}), \quad (2)$$

esta é a chamada força de Lorentz³.

No Sistema Internacional a unidade de intensidade do vetor campo magnético \mathbf{B} denomina-se *tesla* (T), em homenagem ao cientista croata Nikola Tesla. Uma partícula que tem uma carga de 1,0 *coulomb* e está em movimento com uma velocidade de 1,0 metro por segundo perpendicular ao campo magnético de 1,0 *tesla* experimenta uma força de 1,0 newton:

$$1T = 1 \frac{N}{C \cdot (\frac{m}{s})} = 1 \frac{N}{A \cdot m}. \quad (3)$$

Outra unidade para \mathbf{B} , derivada do sistema CGS, é o *gauss* (G), que está relacionado ao tesla da seguinte maneira:

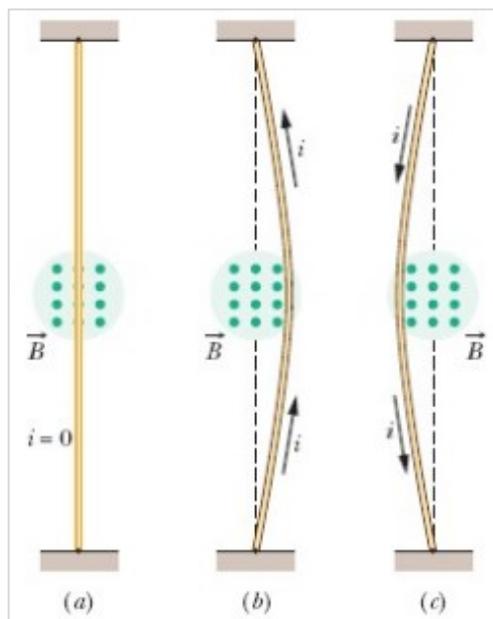
$$1 G = 10^{-4} T. \quad (4)$$

2.3 Força Magnética Sobre uma Corrente

Considerando agora, um fio conduzindo uma corrente em um campo magnético, a lógica básica nos diz que as partículas carregadas devem experimentar uma força defletora quando estiver na presença de um campo magnético. Se as partículas carregadas estiverem presas no fio quando a força atuar, logo o próprio fio, é defletido devido à ação de uma força, conforme a Figura 2.

³ Hendrik Lorentz, (1853-1928), foi um físico teórico holandês que desempenhou um papel significativo no desenvolvimento da teoria do elétron. Para a consideração da força sobre um condutor conduzindo corrente em uma região de campo magnético perpendicular ao condutor como sendo a força sobre as partículas responsáveis pela corrente, denomina-se de força de Lorentz (RIBEIRO, 2008, p.22).

Figura 2 - Força magnética sobre um fio conduzindo uma corrente



Legenda: Um fio flexível passa entre os polos de um ímã. (a) Quando não há corrente, o fio não se encurva para nenhum lado. (b) Quando há uma corrente para cima, o fio se encurva para a direita. (c) Quando há uma corrente para baixo, o fio se encurva para a esquerda. Fonte: Halliday, 2016.

Se o sentido da corrente for invertido, a força defletora atuará em sentido contrário. Se a corrente é perpendicular às linhas de campo, a força se tornará mais intensa. A corrente consiste em partículas carregadas movendo-se com velocidade \mathbf{v} ao longo do fio. Cada carga sente a força transversa, conforme a Equação (1):

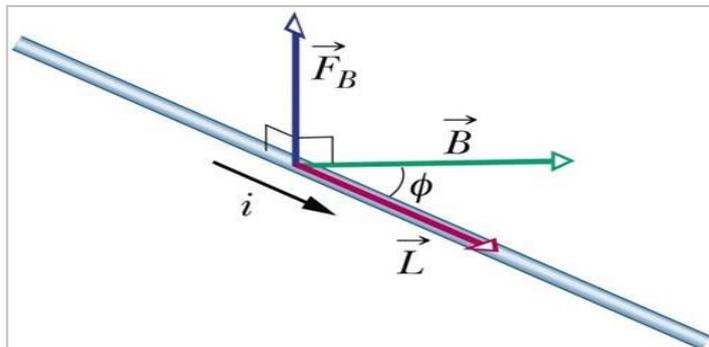
$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} .$$

A força infinitesimal é dada por

$$d\mathbf{F} = dq \mathbf{v} \times \mathbf{B} . \quad (5)$$

Considerando uma seção $d\mathbf{l}$ do fio da Figura 3, onde um fio transportando uma corrente i faz um ângulo φ com o campo magnético \mathbf{B} .

Figura 3 - Força magnética em um segmento de fio



Legenda: Um fio percorrido por uma corrente i faz um ângulo ϕ com um campo magnético \vec{B} . O fio tem um comprimento L e um vetor comprimento \vec{L} (na direção da corrente). Uma força magnética $\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$ age sobre o fio. Fonte: Halliday, 2016.

Os elétrons, nesta seção do fio, irão deslocar-se numa velocidade $d\vec{l}/dt$, transportando uma carga dada por

$$dq = idt. \quad (6)$$

Substituindo esse valor na Equação (5), temos

$$d\vec{F} = idt \left(\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B} \right) \Rightarrow d\vec{F} = id\vec{l} \times \vec{B}. \quad (7)$$

A força infinitesimal na seção $d\vec{l}$ pode ser escrita como

$$dF = idlB \sin\varphi, \quad (8)$$

na qual φ é o ângulo entre a direção do segmento do fio $d\vec{l}$ (direção da corrente) e a direção do campo magnético \vec{B} .

E qual seria então, a força magnética sobre o fio inteiro. Nesse caso

$$\vec{F} = \int_{\text{fio}} d\vec{F} = \int_{\text{fio}} i d\vec{l} \times \vec{B}. \quad (9)$$

Se ocorrer o caso do campo magnético B ser uniforme e o fio ter um comprimento finito, a Equação (9) pode ser resumida a

$$\mathbf{F} = i \mathbf{L} \times \mathbf{B}. \quad (10)$$

E se imaginarmos um caminho fechado e o campo magnético \mathbf{B} uniforme, a força que age no circuito é por definição

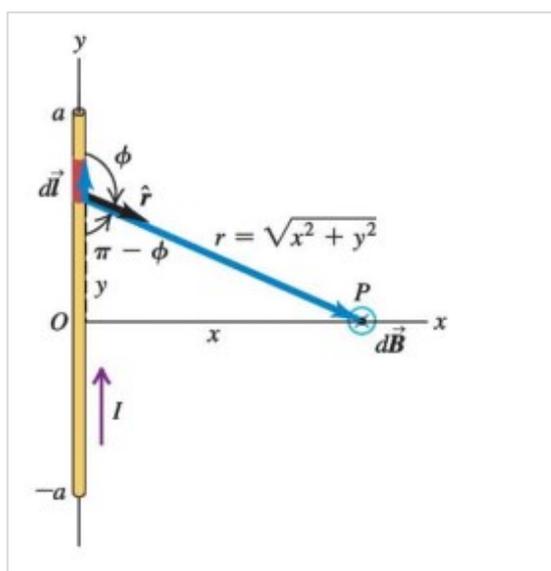
$$\mathbf{F} = \oint i d\mathbf{l} \times \mathbf{B} = 0. \quad (11)$$

É importante observar que a equação que fornece a força magnética no fio, devido a um movimento de cargas nele contidas, não depende da quantidade de cargas carregadas por cada uma das partículas.

2.4 O campo magnético de uma corrente elétrica

A partir da observação de Hans Christian Oersted da deflexão de uma bússola na proximidade de um fio com corrente elétrica, dois físicos franceses, Jean-Baptista Biot e Félix Savart, foram incentivados a formularem uma equação que permitia calcular a intensidade do campo magnético gerado em um ponto P a uma distância r de um elemento de comprimento $d\mathbf{l}$ em um fio por onde se passa uma corrente elétrica i , conforme a Figura 4.

Figura 4 - Campo magnético produzido por um fio retilíneo de comprimento $2a$



Legenda: No ponto P , o campo $d\vec{B}$ produzido por cada elemento do condutor possui sentido para dentro da página, como o campo total \vec{B} . Fonte: Young & Freedman, 2015.

Considerando uma carga dq , que se move com uma velocidade \mathbf{v} no fio, então, escreve-se $d\mathbf{B}$ usando a expressão

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dq \mathbf{v} \times \hat{r}}{r^2}. \quad (12)$$

Uma carga em movimento no fio define uma corrente, que podemos escrever como

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (13)$$

Se a carga q tem velocidade \mathbf{v} , no intervalo dt , ela vai andar um elemento $d\mathbf{l}$, que tem a direção do fio. Escrevendo a velocidade como

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{l}}{dt}. \quad (14)$$

E substituindo (13) e (14) em (12), obtemos o campo $d\mathbf{B}$ produzido por cargas em movimento, que é dado pela Equação 15, denominada **Lei de Biot-Savart**:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\mathbf{l} \times \hat{r}}{r^2}, \quad (15)$$

na qual μ_0 é uma constante de proporcionalidade, chamada de constante magnética (permeabilidade do espaço livre), a qual, por definição, tem o valor

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A. \quad (16)$$

O valor do campo $d\mathbf{B}$ é proporcional ao seno do ângulo θ formado entre as direções dos vetores $d\mathbf{l}$ e \mathbf{r} . Assim, o campo será máximo se $\theta = \pi/2$ (perpendicular) e nulo se $\theta = 0$ (paralelo).

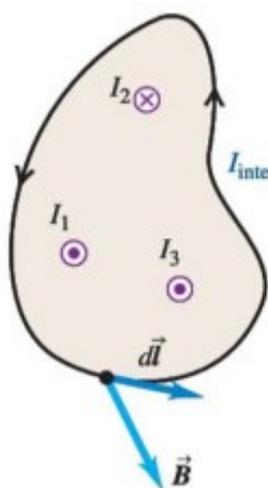
2.5 O campo magnético de uma corrente estacionária

Os resultados de Oersted foram apresentados em 1820 numa reunião da Academia de Ciências da França, em Paris. O jovem físico André Marie Ampère assistiu a apresentação e, imediatamente após, deu início a uma série de experiências belíssimas, entre elas, uma que propôs que as correntes elétricas fossem as fontes de todos os fenômenos magnéticos, cujo primeiro resultado, anunciado uma semana depois, dizia respeito à interação magnética entre fios transportando correntes paralelas. Ampère foi chamado por Maxwell de “o Newton da Eletricidade” (NUSSENZVEIG, 1997).

Para o cálculo do campo magnético devido a uma distribuição de corrente, utilizamos a Lei de Biot-Savart. Mas existe uma outra lei, denominada **lei de Ampère**, que permite resolver com rapidez e com um esforço consideravelmente menor, o cálculo de um campo magnético quando a distribuição de corrente elétrica apresenta um alto grau de simetria.

Então, é possível calcular o campo magnético total associado a qualquer distribuição de correntes escrevendo o campo magnético elementar $d\mathbf{B}$ produzido por um elemento de corrente $id\mathbf{l}$ e somando as contribuições de todos os elementos de corrente, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Aplicação da lei de Ampère, plano da curva vista de cima



Legenda: Quando calculamos a integral de linha do campo magnético em torno de uma curva fechada, o resultado equivale a μ_0 vezes o total da corrente. Fonte: Young & Freedman, 2015.

A Figura 5 mostra a seção transversal de um fio retilíneo que atravessa o plano da página perpendicularmente a ele. Cada linha de \mathbf{B} é uma curva fechada e

sua determinação pode ser feita em termos de sua circuitação, ou seja, fazendo a integral de linha desse campo num caminho fechado (HALLIDAY, 2016). Então,

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \oint_C B dl \cos \theta . \quad (17)$$

Para o caso do campo produzido por um fio, fazemos

$$dl \cos \theta = r d\varphi , \quad (18)$$

em que φ é o ângulo infinitesimal e r é raio local do campo \mathbf{B} . Assim,

$$\oint_C B dl \cos \theta = \oint_C B r d\varphi = \int \frac{\mu_0 i}{2\pi r} r d\varphi = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \int d\varphi . \quad (19)$$

Num caminho fechado, onde $\varphi = 2\pi$, temos

$$\frac{\mu_0 i}{2\pi} \int_{2\pi} d\varphi = \mu_0 i . \quad (20)$$

Assim,

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i . \quad (21)$$

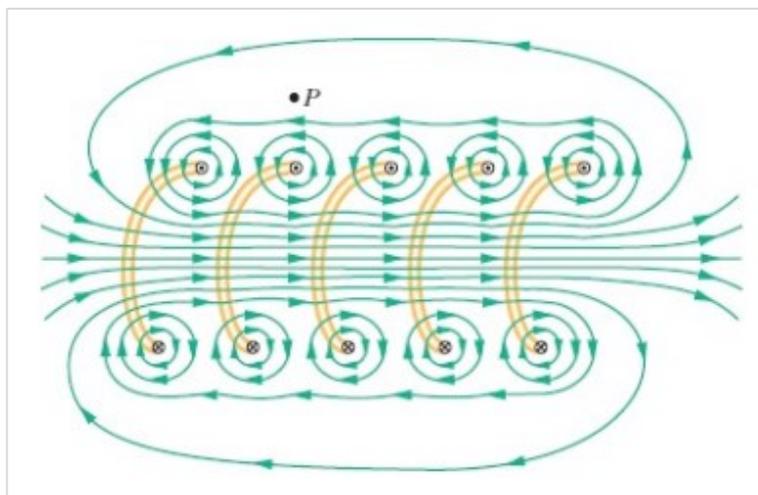
A Equação (21) é chamada de lei de Ampère. A corrente i é a corrente total envolvida pela curva fechada.

2.6 Campo Magnético em um Solenoide

Uma situação com um alto grau de simetria, em que o uso da lei de Ampère se mostra útil, é o cálculo do campo magnético criado pela corrente numa longa bobina de fio enrolado numa espira justa, como mostra a Figura 6. Este tipo de bobina é denominado de solenoide (HALLIDAY, 2016). Supondo que o solenoide é muito longo, em comparação com seu diâmetro, as suas linhas de campo internas vão se tornando mais próximas do paralelo, enquanto que, as suas linhas externas vão se tornando

cada vez mais raras. Podemos encontrar a intensidade do campo interno utilizando a lei de Ampère.

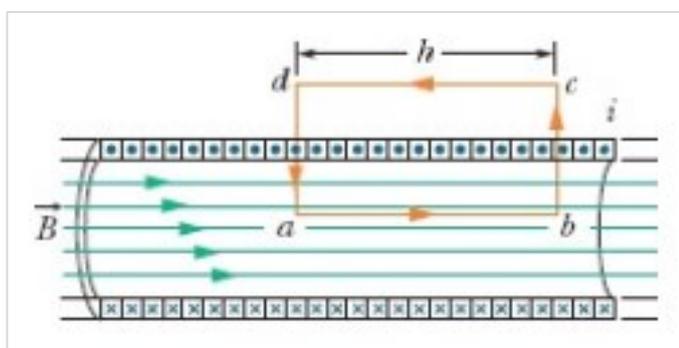
Figura 6 - Seção reta de um trecho de um solenoide percorrido por uma corrente



Legenda: São mostradas apenas as partes traseiras de cinco espiras e as linhas de campo magnético associadas. As linhas de campo magnético são circulares nas proximidades das espiras. Perto do eixo do solenoide, as linhas de campo se combinam para produzir um campo magnético paralelo ao eixo. O fato de as linhas de campo apresentarem um pequeno espaçamento indica que o campo magnético nessa região é intenso. Do lado de fora do solenoide, as linhas de campo são bem espaçadas, e o campo é muito mais fraco. Fonte: Halliday, 2016.

Num cilindro longo, as linhas de campo internas serão quase uniformes, para esse caso, usamos a lei de Ampère com a “curva amperiana retangular *abcd*” mostrada na Figura 7.

Figura 7 - Aplicação da lei de Ampere a uma seção de um solenoide ideal percorrido por uma corrente i



Fonte: Halliday, 2016.

Escrevemos a integral de linha de \mathbf{B} como a soma de quatro integrais, uma para cada segmento do percurso. Considerando que o caminho contém N espiras e usando a lei de Ampère, temos

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i.$$

Então,

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_b^c \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_c^d \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_d^a \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}. \quad (22)$$

Destas, somente a primeira produz um valor não nulo. A segunda e a quarta são nulas, pois o campo \mathbf{B} é perpendicular às linhas de campo e a terceira percorre o lado de fora, onde o campo \mathbf{B} pode ser desprezado. A integral de linha de \mathbf{B} nesta curva é simplesmente

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + 0 + 0 + 0 = B h. \quad (23)$$

A corrente líquida i englobada pela curva amperiana retangular mostrada na Figura 7, não é igual a corrente i_S do solenoide, pois esse caminho corta mais de uma espira. Sendo n o número de voltas por unidade de comprimento do solenoide, ou seja, $n = N/h$, temos

$$i = i_S (nh). \quad (24)$$

A lei de Ampère torna-se, então

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i \Rightarrow B h = \mu_0 i_S n h. \quad (25)$$

Assim,

$$B = \mu_0 i_S n. \quad (26)$$

A Equação (26) vale com boa aproximação para solenoides reais aplicada somente a pontos internos próximos ao centro da solenoide. Segundo Halliday (2016), essa Equação é consistente com o fato experimental de que B não depende do diâmetro ou do comprimento do solenoide e de que B é uma constante sobre a seção transversal do solenoide. Um solenoide fornece uma forma prática de se obter um campo magnético uniforme conhecido para fins experimentais.

Uma bobina conduzindo uma corrente elétrica constitui um eletroímã. A intensidade de um eletroímã pode ser aumentada simplesmente aumentando-se a corrente que flui pelo dispositivo e o número de espiras em torno do núcleo. Eletroímãs industriais têm suas intensidades reforçadas pela introdução de um núcleo de ferro no interior da bobina. Ímãs suficientemente potentes para erguer automóveis são de uso comum em depósitos de ferro velho.

Os eletroímãs não precisam ter núcleos de ferro. Eletroímãs sem núcleos são usados no transporte por levitação magnética, ou trem magnético. A construção de um eletroímã foi o tema da atividade experimental que aconteceu no quarto encontro da Sequência Didática, enquanto que a construção de um trem magnético foi realizada no penúltimo encontro.

2.7 Fluxo da Indução Eletromagnética

Como vimos na seção 2.1 desse capítulo, Christian Oersted mostrou, em 1820, a produção de campos magnéticos a partir de correntes elétricas. A partir daí, a comunidade científica se perguntava: “se produzimos campos magnéticos a partir de correntes elétricas”, se seria possível mostrar o contrário.

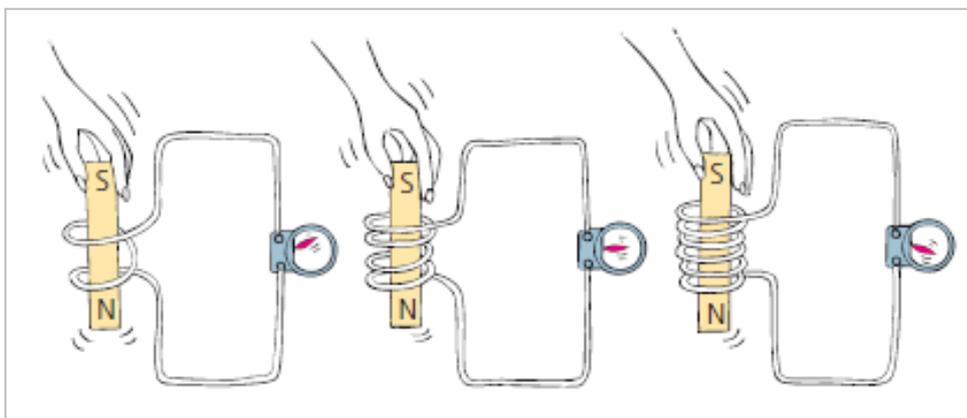
Os físicos Michael Faraday e Joseph Henry descobriram que a corrente elétrica pode ser produzida em um fio simplesmente movendo-se um ímã para dentro ou para fora das espiras de uma bobina. Não foi necessário o uso de bateria ou outra fonte de voltagem – apenas o movimento do ímã em relação à bobina (HEWITT, 2005).

O fenômeno da produção de corrente pela variação do campo magnético em espiras de fio é denominado de indução eletromagnética, e a corrente elétrica produzida é chamada de corrente elétrica induzida. Segundo Hewitt (2005), a corrente é causada, ou induzida, pelo movimento relativo entre um fio e um campo magnético. A indução da corrente ocorre se o campo magnético de um ímã se move próximo a

um condutor estacionário, ou se o condutor move-se em um campo magnético estacionário.

Quanto maior for o número de espiras do fio que se movem no campo magnético, maior a corrente induzida, conforme a Figura 8. A indução eletromagnética foi a ferramenta principal para a produção experimental do trem magnético, proposto na sequência Didática.

Figura 8 - Indução de uma voltagem pela variação do campo magnético



Fonte: Hewitt, 2005.

A indução eletromagnética é resumida pela lei de Faraday, a qual estabelece que a corrente induzida em uma bobina seja proporcional ao produto do número de espiras pela área da seção transversal de cada espira e pela taxa com a qual o campo magnético varia no interior das espiras.

Para aplicar a lei de Faraday precisamos saber calcular a quantidade de linhas de campo magnético que atravessa essa espira. Para isso, definimos um fluxo magnético dado por:

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}. \quad (27)$$

A unidade de fluxo magnético é a de intensidade de campo magnético multiplicada pela área, ou seja, o tesla-metro quadrado, que é definida por *weber* (Wb):

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2. \quad (28)$$

A força eletromotriz induzida ε em uma espira se opõe à variação do fluxo, de modo que, matematicamente, a lei de Faraday pode ser escrita na forma:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}, \quad (29)$$

onde o sinal negativo indica a oposição a que nos referimos.

Se tivermos o fluxo magnético através de uma bobina de N espiras que sofre uma variação de tempo, uma força eletromotriz é induzida em cada espira e a força eletromotriz total é a soma dessas forças eletromotrizes. Se as espiras da bobina estão muito próximas, o mesmo fluxo magnético ϕ_B atravessa todas as espiras e a força eletromotriz total induzida na bobina é dada por:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt}. \quad (30)$$

E assim, encerramos a seção sobre os tópicos de Eletromagnetismo, pois o intuito deste trabalho é apenas falar sucintamente sobre tais tópicos, deixando um aprofundamento do assunto para os livros didáticos que melhor definem tais assuntos. No próximo capítulo, apresentamos a Sequência Didática, fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980), proposta neste trabalho.

3 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Uma Sequência Didática é uma maneira organizada de proporcionar o ensino no ambiente escolar através de um conjunto de atividades planejadas e interligadas

etapa por etapa, com o objetivo de transformar fenômenos físicos em conteúdos interessantes, permitindo a construção do conhecimento, inserindo o aluno no contexto da discussão (ZABALA, 1998). A utilização da Sequência Didática em aulas experimentais com perspectiva da aprendizagem significativa é uma boa forma de implementar maneiras diferenciadas de ensino que possibilitem uma melhor aprendizagem, sendo possível motivar os alunos na busca por perguntas e respostas sobre o fenômeno abordado. As condições para que essa aprendizagem significativa ocorra é um questionamento que Moreira (2010, p. 7) faz:

Mas se já sabemos o que é aprendizagem significativa, quais são as condições para que ocorra e como facilitá-la em sala de aula, o que falta a nós professores para que possamos promovê-la como uma atividade crítica? Na verdade, nos falta muito. A começar pela questão da predisposição para aprender. Como provocá-la? Muito mais do que motivação, o que está em jogo é a relevância do novo conhecimento para o aluno. Como levá-lo a perceber como relevante é o conhecimento que queremos que construa?

Assim, o trabalho na escola onde será aplicada esta sequência didática, deve iniciar com uma conversa com a gestão escolar juntamente com o núcleo pedagógico para solicitar autorização da aplicação da metodologia, de preferência com a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido sobre a realização da pesquisa. Além disso, o professor deve explicar a finalidade da pesquisa que utiliza uma proposta de caráter experimental para o ensino e aprendizagem dos alunos.

Esta sequência didática foi proposta como uma estratégia de ensino diferenciado, por meio de experimentos de baixo custo e investiga alguns tópicos de Eletromagnetismo (entre eles, a Força magnética, o Campo magnético e a Indução eletromagnética), com a finalidade de diminuir as dificuldades que os alunos possam ter em relação a compreensão de alguns conceitos físicos, e pode ser aplicada em uma turma da 3ª Série do Ensino Médio. Nesse sentido, planejou-se a execução da sequência didática em dez encontros, com duas aulas destinadas para cada momento que podem ocorrer no período normal das aulas, seguindo as diretrizes definidas no plano anual da disciplina Física. Além disso, os encontros podem ser realizados na própria sala de aula, caso a escola não possua laboratório experimental.

Os conhecimentos prévios formais necessários para o aluno são os conteúdos da Eletrodinâmica, isto é, o educando já deve ter estudado os conceitos que envolvem desde corrente elétrica até circuitos elétricos. A organização dos encontros está dividida de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1 - Quadro geral para proposta de sequência didática utilizada

| | |
|--------------|--|
| 1º ENCONTRO | Aplicação de questionário para levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Eletromagnetismo. |
| 2º ENCONTRO | Realização de atividade experimental investigativa utilizando bússolas e ímãs. |
| 3º ENCONTRO | Condução de aula expositiva sobre: Ímãs e suas propriedades; Campo magnético; Campo magnético terrestre. |
| 4º ENCONTRO | Realização de atividade experimental na construção de eletroímãs. |
| 5º ENCONTRO | Condução de aula expositiva sobre: Características do campo magnético gerado por corrente elétrica. |
| 6º ENCONTRO | Realização de uma atividade experimental na construção de um motor elétrico simples. |
| 7º ENCONTRO | Condução de uma aula expositiva sobre: Força elétrica e Efeito motor. |
| 8º ENCONTRO | Condução de aula expositiva sobre: Indução magnética. Orientação sobre a construção do experimento “Trem magnético”. |
| 9º ENCONTRO | Construção e teste do experimento “Trem magnético”. Orientação sobre a montagem de mapas conceituais contemplando os conteúdos físicos trabalhados na sequência didática. |
| 10º ENCONTRO | Exposição e apresentação da atividade experimental “Trem magnético”. |

3.1 Primeiro Encontro

No primeiro encontro, o professor inicia os trabalhos explicando aos alunos toda a estrutura da sequência didática, que parte de um questionário diagnóstico até as aulas experimentais com perspectivas de uma aprendizagem significativa como forma de implementar maneiras diferenciadas de ensino do Eletromagnetismo.

No primeiro encontro, se explica toda a sistemática da sequência didática que parte de um questionário diagnóstico até as aulas experimentais com perspectivas de uma aprendizagem significativa sobre os conteúdos de tópicos de Eletromagnetismo. Em seguida, aplica-se um questionário diagnóstico cujo objetivo é fazer um

levantamento dos conhecimentos prévios dos educandos sobre o Eletromagnetismo. O questionário diagnóstico pode ser aplicado individualmente, em duplas, em trio ou em equipes de quatro componentes. No Quadro 2, encontram-se as questões da avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios a serem respondidas pelos educandos.

Quadro 2 - Avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios

| | |
|-----|--|
| 1ª) | O que é um ímã? |
| 2ª) | Quais materiais são atraídos por um ímã? |
| 3ª) | Quais materiais não são atraídos por um ímã? |
| 4ª) | O que é uma bússola? |
| 5ª) | Para que serve uma bússola? |
| 6ª) | Por que a agulha de uma bússola aponta sempre para a região do polo norte Geográfico da Terra? |
| 7ª) | O que é um campo magnético? |

Esse diagnóstico tem como objetivo levantar os conhecimentos prévios dos alunos, e com isso direcioná-los ao nível dos novos conhecimentos e a metodologia experimental que serão explorados nas atividades seguintes. Assim, os discentes podem perceber os aspectos relevantes do ensino e aprendizagem dentro de uma

estrutura cognitiva individual. Após o diagnóstico, podem-se trabalhar os conteúdos iniciais do Eletromagnetismo, que trata dos fenômenos magnéticos. E, a partir do segundo encontro os alunos já possuirão conhecimento suficiente para as primeiras atividades experimentais propostas.

3.2 Segundo Encontro

Seguindo com a programação da SD, realiza-se uma atividade experimental de caráter investigativo intitulado de “Introdução ao Magnetismo”. Para essa atividade, o professor deve solicitar a formação de equipes que receberão um *kit* com os materiais a serem utilizados na atividade. O roteiro a ser seguido é exposto no Quadro 3, como segue.

Quadro 3 - Roteiro de atividade 1

| Introdução ao Magnetismo | |
|--|---|
| Objetivo: Construir a ideia de Campo magnético e interação entre campos | |
| Materiais: Bússolas, ímãs, pregos de ferro, moedas de aço, cliques de aço, lacres de alumínio e fios de cobre. | |
| Procedimentos e Questionário | |
| Coloque a bússola sobre a mesa e movimente-a. | |
| 1ª) | O que a agulha da bússola apontava? |
| Utilizando duas bússolas, coloque uma fixa sobre a mesa e movimente a outra em torno da primeira, mantendo-as sempre bem próximas. | |
| 2ª) | Uma bússola exerce alguma influência sobre a outra? Como você explica o que foi observado? |
| Coloque agora um dos ímãs fixo sobre a mesa e movimente a bússola em volta do mesmo. | |
| 3ª) | Qual o comportamento da agulha da bússola? Qual a explicação para isso? |
| 4ª) | Você notou diferença no comportamento da agulha nas proximidades dos dois lados do ímã? Que diferença foi essa? |
| 5ª) | Se há diferença de comportamento entre os lados, dê um nome para cada um deles e identifique-os? |

Com os dois ímãs sobre a mesa, aproxime os extremos dos dois ímãs, faça todas as combinações possíveis.

6ª) Qual a conclusão que você pode tirar do comportamento observado?

Com um kit formado por um ímã, 3 clips de aço, uma moeda de 10 centavos de real, 3 lacres de latinha de refrigerante de alumínio, 2 pedaços de fio de cobre e 2 pregos de ferro, aproxime o ímã de cada um dos objetos.

7ª) Quais objetos foram atraídos pelo ímã?

8ª) Qual a conclusão que você pode tirar desse comportamento observado?

O objetivo dessa atividade é construir uma ideia de como ocorre a interação dentro de um campo magnético utilizando a prática investigativa. Esse tipo de atividade favorece o processo de ensino e aprendizagem, pois aproxima o cotidiano do aluno à investigação científica. E, pode aguçar o interesse dos alunos aos conteúdos do Eletromagnetismo proposto porque a execução dos experimentos conduz os mesmos a uma reflexão mais aprofundada do fenômeno magnetismo (SEREIA, 2010).

Ao final dos experimentos, o professor deve comunicar que no próximo encontro os conteúdos referentes a essa atividade serão abordados de forma teórica e dialogada, e que podem ser pesquisados no livro didático adotado, livros da biblioteca da escola ou em sites da internet.

3.3 Terceiro Encontro

No terceiro encontro, o professor deve ministrar uma aula expositiva e dialogada sobre o conteúdo “Campo Magnético”, para explicar o surgimento do magnetismo, as características dos ímãs e como se dá a atuação de um campo magnético. A aula deve ser ministrada sempre relacionando as questões abordadas nos questionários propostos anteriormente para aprofundamento do conteúdo estudado pelo aluno, assim, o mesmo ancora os conhecimentos adquiridos durante os experimentos ao novo conhecimento.

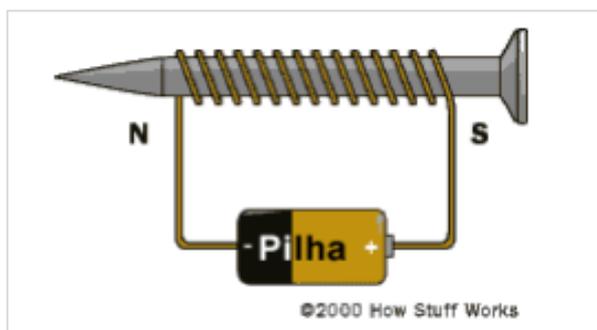
Em seguida, o professor pode promover uma roda de discussão para que os estudantes possam comentar seus pontos de vista em relação ao conteúdo e forma

de ministração do mesmo, além de expor suas opiniões sobre a proposta inicial da sequência didática. Ao final do encontro, o professor apresenta a proposta do próximo encontro, sugerindo uma pesquisa sobre os eletroímãs, tema do próximo encontro.

3.4 Quarto Encontro

A programação da SD segue com a realização de uma atividade experimental investigativa com o título de “Produzindo um eletroímã caseiro”. O roteiro foi elaborado com a colaboração da seção “Atividade prática”, do livro adotado pela escola, Física para o Ensino Médio (YAMAMOTO; FUKU, 2016). O professor deve solicitar que equipes sejam formadas, e em seguida faça a entrega dos materiais a serem utilizados no experimento. Essa tarefa tem como finalidade a observação do campo magnético de um solenoide percorrido por uma corrente elétrica, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Eletroímã caseiro



Fonte: Disponível em: <<http://grupo5-3c.blogspot.com/2011/03/relatorio-eletoima.html>>.

O objetivo dessa experiência é levar o estudante a observar o que acontece com o campo magnético quando um fio condutor em forma de um solenoide é percorrido por uma corrente elétrica. E, quais os elementos influenciam na intensidade com que o eletroímã atrai os utensílios metálicos. O roteiro da atividade encontra-se no Quadro 4, como segue.

Quadro 4 - Roteiro de Atividade 2

| Produzindo um Eletroímã Caseiro |
|---|
| Objetivo: Confeccionar um eletroímã simples em sala de aula. |

| Materiais | |
|--|---|
| Fio condutor de cobre esmaltado; pilha grande comum de 9,0 V; prego de aço grande; lixa; clipes, tachinhas e outros objetos metálicos susceptíveis à atração magnética. | |
| Procedimentos | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Para fazer o solenoide, enrole o fio condutor em torno do prego feito de aço. Deve-se deixar livre duas pontas do fio condutor de aproximadamente 10 cm de comprimento, para a conexão com a pilha. 2. Lixem as duas extremidades do fio. 3. Ligue as extremidades do fio aos polos da pilha. 4. Aproxime o eletroímã de pequenos objetos metálicos com pesos e tamanhos diferentes para observar a intensidade da força de atração. 5. Aumente o número de espiras (voltas no fio) e observe se o campo magnético aumentou ou diminuiu de intensidade. 6. Retire o prego do interior do eletroímã e repita os procedimentos acima, comparando a sua força de atração com a do eletroímã completo. | |
| Questionário | |
| 1ª) | O número de voltas dadas no fio da bobina afeta a intensidade com que ele atrai os objetos metálicos? |
| 2ª) | Com o prego no interior da bobina, o que acontece com a intensidade da atração? |
| 3ª) | Este é o instrumento básico para muitos dispositivos eletromagnéticos, por exemplo, a campainha. Com base no que foi descrito nesta atividade, você pode descrever o seu funcionamento? |
| 4ª) | Quais as aplicações práticas dos eletroímãs? |

3.5 Quinto Encontro

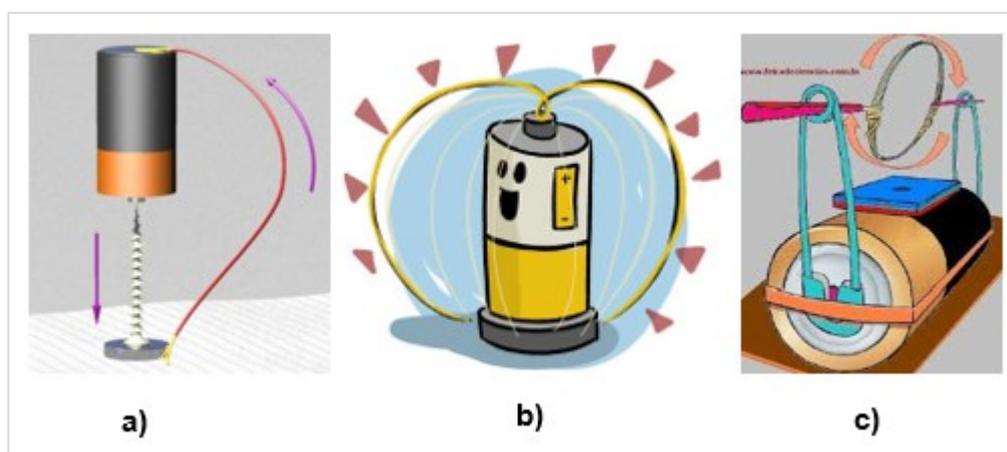
Seguindo a programação da sequência didática, no quinto encontro, o docente deve ministrar uma aula expositiva e dialogada sobre o tema “Campo magnético gerado por corrente elétrica”, explicando o comportamento magnético em um condutor retilíneo, em um condutor circular e no interior de um solenoide. Nesse encontro, deve-se dar ênfase ao experimento de Oersted, mostrando a interação entre campo elétrico e campo magnético, e também como as linhas de campo são formadas no interior de uma espira. Em seguida, o professor promove uma roda de discussão

pedindo aos alunos que comentem sobre a montagem do experimento do eletroímã e que analisem as respostas dadas nos questionamentos do roteiro da referida atividade, e exponham as dúvidas a respeito do conteúdo. Ao final do encontro, o professor apresenta a proposta da próxima aula, sugerindo uma pesquisa sobre Motores elétricos simples, que faz parte do próximo encontro da SD.

3.6 Sexto Encontro

No sexto encontro da SD, é realizada outra atividade experimental investigativa cujo título é: “Construindo um motor elétrico simples”. O roteiro foi elaborado com a colaboração da seção “Atividade Prática”, do livro adotado pela escola, “Física para o Ensino Médio” (YAMAMOTO; FUKU, 2016), e do canal do *Youtube* “Manual do mundo”³. O professor deve solicitar que sejam formadas equipes, e, em seguida, é realizada a entrega dos materiais a serem utilizados no experimento. Os três experimentos a serem realizados pelas equipes são ilustrados na Figura 10.

Figura 10 - Ilustrações dos experimentos do encontro 6



Fonte: a) e b) Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/35699813/motor-de-faraday-finalizado-relatorio>>. c) Disponível em: <<http://www.imas-neodimio.com/news/Motor-M-nimo-67.html>>.

³ Disponível em: <<https://manualdomundo.uol.com.br/2014/09/como-fazer-motor-eletrico-com-ima/>>.

A confecção dos três motores elétricos simples distintos pode ser escolhida de forma aleatória ou através de sorteio, isso fica a cargo do professor. O roteiro para realização das três atividades ilustradas na Figura 10, encontra-se no Quadro 5.

Quadro 5 - Roteiro da atividade 3

| Produzindo um Motor Elétrico Simples | | |
|---|--|--|
| Objetivo: Confeccionar três motores elétricos simples em sala de aula. | | |
| Material motor a | Material motor b | Material motor c |
| Fio de cobre esmaltado, pilha comum de 1,5 V, ímã de neodímio e parafuso simples de rosca. | Fio de cobre esmaltado, pilha comum de 1,5 V, pincel atômico, ímãs de neodímio. | Fio de cobre esmaltado, pilha comum de 1,5 V, ímã de autofalante, clips metálicos; fita isolante; lixa, suporte de madeira. |
| Procedimento motor a | Procedimento motor b | Procedimento motor c |
| <ul style="list-style-type: none"> - Coloque o ímã de neodímio na cabeça do parafuso; - Encoste a ponta do parafuso no terminal positivo (saliência) da pilha. Não se preocupe, o ímã manterá o parafuso “grudado” na pilha e não cairá; - Encoste uma extremidade do fio no terminal negativo da pilha e o mantenha nessa posição, pressionando com o dedo; - Encoste levemente a outra extremidade do fio à lateral do ímã de neodímio e veja o que acontece. | <ul style="list-style-type: none"> - Com o fio de cobre, faça 5 voltas em espiral envolta do pincel atômico; - Em um dos lados da espiral, faça um círculo, de base reta, de tamanho em que o ímã consiga passar livremente; - No outro lado, faça um gancho virado para dentro da espiral; - Junte a pilha com os ímãs de neodímio; - Coloque a pilha com os ímãs dentro da espiral; - Solte a espiral que irá girar em volta da pilha. | <ul style="list-style-type: none"> - Construa uma bobina com o fio de cobre, enrolando de 5 a 10 voltas em torno da pilha, deixando duas pontas livres; - Monte os suportes da bobina usando os clips metálicos; - Anexe os suportes à pilha, usando a fita isolante; - Lixe as pontas da bobina; - Apoie a bobina nos suportes; - Coloque o ímã próximo da bobina; - Dê um impulso inicial na bobina para dar a partida. |
| Discussão das equipes | | |
| Equipe a | Como podemos variar a velocidade de giro do parafuso? | |
| Equipe b | Como podemos variar a velocidade de giro da espiral? | |
| Equipe c | Como podemos variar a velocidade de giro da bobina? | |

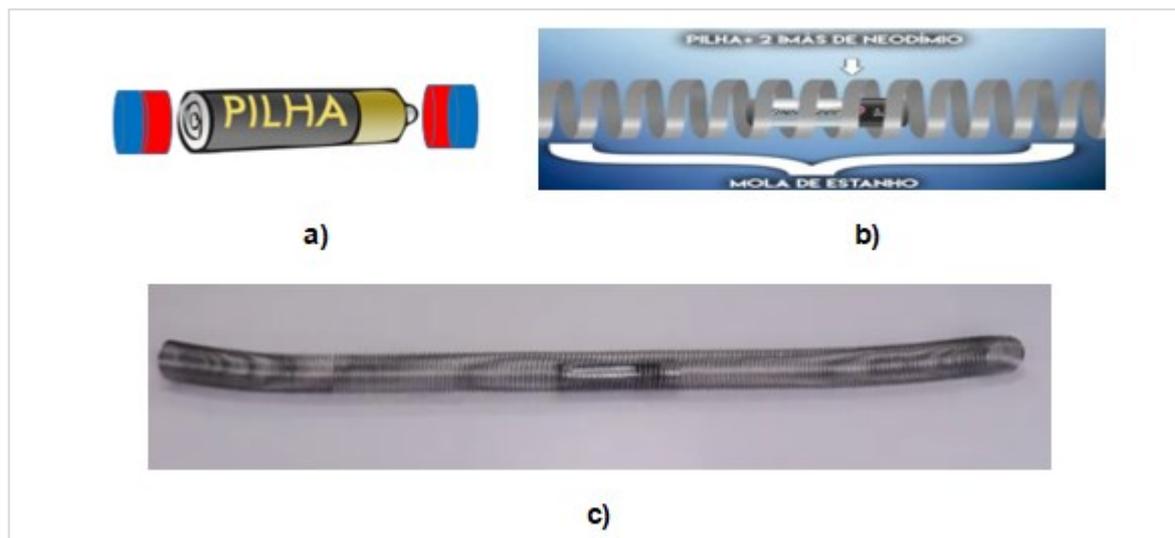
O objetivo dessa experiência é direcionar o estudante a observar o que acontece com o campo magnético quando uma corrente elétrica circula numa espira. Ou seja, observar a indução do campo magnético ao converter energia elétrica em energia mecânica, que é a função principal de um motor elétrico.

3.7 Sétimo Encontro

O sétimo encontro inicia-se com o professor ministrando uma aula expositiva sobre o conteúdo Força magnética, que relaciona a investigação realizada no experimento do motor elétrico com a teoria que explica o funcionamento de alguns eletrodomésticos. Nesta aula, explica-se a atuação da força magnética sobre um corpo eletrizado e sobre um condutor retilíneo, além de abordar o efeito de rotação produzido pela ação de uma força magnética. Em seguida, o professor fará intermediação em uma roda de discussão para que os discentes possam comentar sobre as dificuldades que encontraram na confecção dos experimentos realizados.

Depois de esclarecer todas as dúvidas, o professor coordenará a formação das equipes que farão a demonstração experimental da atividade de produção de um trem magnético e entregará o roteiro dessa atividade. Esta, ocorrerá no nono encontro, e será a única que os alunos estarão responsáveis pela obtenção dos materiais utilizados, com exceção dos ímãs de neodímio, que deverão ser cedidos pelo professor. A Figura 11, ilustra os materiais que serão usados no experimento.

Figura 11 - Ilustração do procedimento do experimento do trem magnético



Legenda: a) Pilha com os dois ímãs de neodímio em seus polos que funcionará como o trem magnético no protótipo experimental; b) Corresponde a representação do funcionamento do protótipo experimental; c) Constitui o protótipo do trem magnético. **Fonte:** a) Adaptado de < http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/quimica/465_pilhas/exp01.htm>. b) Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=p7sdTq7WdIM>>.

O roteiro desse experimento foi elaborado com a colaboração do “Manual para a construção de experimentos sobre Eletromagnetismo” de Monteiro e Silva (2018) e do canal do *Youtube* “Manual do mundo”. O roteiro e procedimento encontram-se no Quadro 6, a seguir.

Quadro 6 - Roteiro da atividade 4

| Produzindo um Trem Magnético |
|--|
| Objetivo: Confeccionar um trem magnético. |
| Materiais |
| Pilha AAA alcalina; 2 ímãs de neodímio; rolo de estanho de 1mm de espessura; marcador de texto para modelar o estanho; maquete para visualização de todo o conjunto espacial do experimento. |
| Procedimentos |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Enrole o estanho em volta do marcador de texto, onde as voltas têm de estar o mais junto possível uma da outra. 2. Defina a polaridade dos ímãs, marcando-as para identificação. 3. Conecte os ímãs aos polos da pilha, conforme a figura abaixo. |

4. Coloque o conjunto, formado pela pilha e os ímãs, dentro do túnel helicoidal de estanho e dê um pequeno impulso para iniciar o movimento.
5. O conjunto (pilha e ímãs) se moverá dentro do túnel, que passará a sofrer uma força magnética no mesmo sentido do movimento.

Discussão

Explique o princípio de funcionamento desse experimento.

3.8 Oitavo Encontro

No oitavo encontro, aborda-se o tema da Indução magnética, através de uma aula expositiva e dialogada, para explicar a geração de corrente elétrica por fenômenos eletromagnéticos, e como a voltagem é induzida com o movimento de um ímã próximo a um condutor estacionário. Explica-se também, nessa aula, que a indução eletromagnética está presente no nosso cotidiano, através de barreiras eletrônicas de trânsito, nos carros híbridos, em detectores de metais e nos *scanners* e leitores óticos. O final da aula deverá ser destinado para sanar todas as dúvidas sobre a montagem do experimento do trem magnético caseiro, que deverá estar em fase final de construção.

3.9 Nono Encontro

No penúltimo encontro, deve ocorrer a exposição da atividade experimental com o título de “Produzindo um trem magnético”. A Figura 12, ilustra como será o experimento depois de pronto e em funcionamento.

Figura 12 - Protótipo do trem magnético em funcionamento



A atividade consistirá no desenvolvimento do movimento de um sistema formado por uma pilha AAA adicionada a dois ímãs de neodímio no interior de uma espiral feita de estanho (ver Figura 12). O sistema é um protótipo que imita um trem magnético cujo movimento ocorrerá dentro do circuito projetado com a espiral de estanho. Neste experimento os alunos observarão que a pilha AAA com os ímãs de neodímio em seus polos se movimenta sem tocar o “trilho” (espiral de estanho), dando a impressão de que ele está flutuando. O protótipo simula o princípio de funcionamento dos trens *maglev*, de alta velocidade, que se movimentam utilizando esse sistema magnético, sem rodas, eixos ou transmissão mecânica.

Para este encontro, as equipes também deverão preparar uma maquete representando o visual de uma região com cidades por onde o trem deverá circular. Considerando que as equipes chegarão para a aula com as maquetes prontas para a exposição, o professor poderá permitir a visita de professores e alunos de outras

turmas da escola. Cada equipe deverá adotar um método próprio de apresentação das informações aos convidados e responder as dúvidas que, por ventura, venham a ser perguntadas.

No final do encontro, o professor deverá lembrar aos alunos que, na próxima aula estará recebendo os mapas conceituais, representando graficamente as relações significativas entre os conteúdos abordados ao longo da sequência didática.

3.10 Decimo Encontro

No último encontro da sequência didática, acontecerá a entrega dos mapas conceituais produzidas pelos discentes, que deverão conter estruturas relacionando os conceitos físicos estudados. O professor conduzirá mais uma rodada de discussão para que os alunos comentem sobre seus mapas conceituais, falem sobre as dificuldades encontradas para construções dos experimentos propostos, sempre oferecendo oportunidades para uma participação ativa por meios de dúvidas e perguntas relevantes, além de solicitar que avaliem toda a metodologia aplicada nesse projeto. Por fim, deverá ser pedido aos estudantes que comentem sobre o grau de satisfação em participar desse trabalho.

4 MENSAGEM AO PROFESSOR

Prezado(a) professor(a),

Esse manual instrucional foi elaborado com a intenção de ser utilizado por qualquer professor(a) de Física do Ensino Médio que queira incorporar em suas aulas uma Sequência Didática que contenha o uso de práticas experimentais para o ensino de tópicos de Eletromagnetismo. O referido material é fruto de um produto educacional referente à conclusão do curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ofertado pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA), cuja dissertação foi intitulada “Tópicos de Eletromagnetismo Abordados em uma Sequência Didática Experimental para uma Aprendizagem Significativa no Ensino Médio”. Nessa dissertação, em especial, a seção sobre a construção da sequência didática, encontra-se descrito como foi elaborado e aplicado o produto educacional, detalhando cada encontro.

Assim, espera-se que este trabalho possa ser proveitoso ao(a) professor(a) em seu cotidiano profissional e contribua para que o processo de ensino e aprendizagem seja incentivado e promova uma prática investigativa dos conceitos físicos do Eletromagnetismo.

Bom trabalho professor(a)!!

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana Ltda, 1980

BONJORNO, J. R.; et al. **Física: Eletromagnetismo e Física Moderna**. v. 3. 2. Ed. São Paulo: FTD. 2013.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base**. Ministério da Educação. Brasília, 2017.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio**. Brasília: MEC 1998.

COLA DA WEB. Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/fisica/fisica-geral/magnetismo>>. Acesso em: 23/11/2019.

FARIA, R. N.; LIMA, L. F. C. P. **Introdução ao magnetismo dos materiais**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

FREIRE, P. **PEDAGOGIA DA AUTONOMIA: Saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. e WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Volume 3. 10. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2016.

HEWWIT. P. G. **Física conceitual**. 12 ed. Porto Alegre: Bookman Editora. 2015.

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física – Contexto & Aplicação**. São Paulo: Scipione. 2014.

MESOATOMIC. Disponível em: <<http://www.mesoatomic.com/pt-br/fisica/eletromagnetismo/eletromagnetismo/forca-magnetica>>. Acesso em: 10/05/2018.

MONTEIRO, H. R.; SILVA, A. O. D. **Manual para a Construção de Experimentos sobre Eletromagnetismo**. Sorocaba: UFSCar. 2018.

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel.** São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa.** Artigo publicado pelo Instituto de Física da UFRGS. 2010.

NUSSENZVEIG, Herch Moisés. **Curso de Física Básica.** v. 3, 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

RIBEIRO, J. E. A. **Sobre a força de Lorentz, os conceitos de campos e a essência do eletromagnetismo clássico.** Dissertação (Mestrado), USP, 2008.

SALES, F. H. S.; OLIVEIRA, R. M. S.; PONTES, L. R. S. **Experimentos de Física Fáceis de Fazer: Uma Conversa com o Professor de Ensino Médio.** São Luís: Unigraf, 2012.

SEREIA, D. A. O. e PIRANHA M. M. **Aulas práticas investigativas: uma experiência no ensino fundamental para a formação de alunos participativos.** Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/Ciencias/Artigos/aulas_prat_investig.pdf>. Acesso em: 10/10/2018.

THENORIO, I. **Manual do Mundo.** Canal do Youtube: <<https://www.youtube.com/user/iberethenorio>>. Acesso em: 18/09/2018.

TIPLER, P. A. e MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros.** v. 2. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011.

YAMAMOTO, K., FUKU, L. F. **Física para o Ensino Médio.** V. 3. 4. Ed. São Paulo: Editora Saraiva. 2016.

YOUNG, H. D. & FREEDMAN, R. A. **Física III: Eletromagnetismo.** 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

ZABALA, A. **A prática Educativa: Como ensinar.** Porto Alegre: Artmed Editora, 1998.

Ajax Wellington Parente Rosas

Email: ajax.rosas@uol.com.br

Professor de Física e autor deste e-book

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção” (Paulo Freire).