

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 28

PAULO HENRIQUE GOMES

PRODUTO EDUCACIONAL

EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA

Alfenas/MG

2023

PAULO HENRIQUE GOMES

**EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Experimentos Didáticos sobre Lei de Faraday e Lei de Lenz Utilizando Smartphone como Instrumento de Medida, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 28 – Unifal/MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski

Alfenas/MG

2023

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho requer esforço pessoal. Entretanto, não seria possível sem a contribuição de algumas pessoas nessa etapa, seja diretamente ou indiretamente, na qual, gostaria de agradecer.

Primeiramente agradeço a Deus, pela saúde e disposição. Agradeço a minha família pelo apoio e colaboração em todos momentos na qual passei ao longo do mestrado.

Agradeço ao Prof. Dr. Célio Wisniewski, pela orientação, incentivo, aos ensinamentos e pela oportunidade para realizarmos este trabalho.

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

Sumário

1	Introdução	5
2	Construção do kit experimental	7
3	Construção do experimento pêndulo eletromagnético.....	9
4	Construção do experimento transformador	16
5	Construção do experimento eletroímã.....	20
6	Aplicativo <i>Phyphox</i>.....	22
7	Experimentos: Metodologia de Ensino.....	25
7.1	Respostas do experimento – Pêndulo Eletromagnético	25
7.2	Respostas do experimento – Transformador	26
7.3	Respostas do experimento – Eletroímã.....	27
8	Considerações finais	28
9	REFERÊNCIAS.....	29
10	PLANOS DE AULA.....	30
10.1	Plano de aula 1 – corrente elétrica	30
10.2	Plano de aula 2– campo magnético.....	37
10.3	Plano de aula 3 – lei de Faraday e lei de Lenz.....	44

1 Introdução

O produto em questão se trata de Experimentos Didáticos sobre Lei de Faraday e Lei de Lenz utilizando Smartphone como Instrumento de Medida, o qual faz parte da dissertação de mestrado do programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do polo 28 pela Universidade Federal de Alfenas (Unifal/MG). Sendo realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Diante do cenário educacional brasileiro, mais precisamente as metodologias de ensino de física, ficou evidente que o ensino tradicional não gera motivação ou interesse por grande parte dos alunos. Isso se deve pelo fato de que o professor é visto como o detentor do conhecimento e o aluno é meramente um expectador, além da falta ou a pouca frequência de aulas experimentais e o uso excessivo do livro didático. A metodologia de ensino aplicada em conjunto com a precária estrutura nas escolas públicas resulta na falta de motivação e desinteresse por parte dos alunos, deixando a impressão de que a física está distante da sua realidade [1,2].

Outro fator importante, que está diretamente relacionado ao rendimento dos alunos, é o papel do professor. Embora tenha uma carreira docente desvalorizada e muitas vezes as condições de trabalho sejam precárias, esse profissional é o agente motivador e responsável pelas Sequências Didáticas (SD) das aulas teóricas e práticas. A respeito das aulas experimentais, muitas vezes elas seguem uma rotina de verificação do fenômeno físico em questão, seguindo um manual para que as respostas sejam adquiridas [1,3].

Em base dessas averiguações, um produto educacional, através de um kit experimental, na área de Eletromagnetismo, com os tópicos Lei de Faraday e Lei de Lenz, foi desenvolvido. A escolha se deve a tamanha importância que essas leis representaram para a ciência, sendo um marco científico que é pouco explorado em salas de aula. Com isso, o objetivo é oferecer ao professor um produto educacional que visa agregar em sua formação, de modo que instigue a curiosidade e o interesse dos alunos, a qual será aplicado esse produto. Além disso, o aplicativo PhyPhox – aplicativo de coleta de dados utilizando sensores dos smartphones - foi utilizado para agregar ao produto.

Nesse produto educacional você encontrará os materiais necessários para a construção do kit experimental e para a sua montagem e a instrução de como baixar e utilizar o sensor do

seu *smartphone* através do aplicativo disponível gratuitamente, o *PhyPhox*. No apêndice A tem planos de aula embasados pela metodologia da Aprendizagem Significativa como sugestão de aplicação em conjunto com o produto.

2 Construção do kit experimental

O kit experimental proporciona a reprodução de três experimentos didáticos que auxiliam nas aulas de eletromagnetismo, mais precisamente na relação entre eletricidade e magnetismo, sendo eles: o pêndulo eletromagnético, eletroímã e um transformador elétrico. Com esses experimentos é possível demonstrar a indução de Faraday, assim como a geração de um campo magnético devido a uma passagem de corrente elétrica, combinado com o aplicativo gratuito *PhyPhox* para medir a intensidade do campo magnético.

A construção do kit é bastante simples e leva em conta os seguintes materiais para a sua confecção:

- 02 Tubo de PVC de ½: 50 cm e 30 cm;
- 01 Conexão joelho de ½;
- 01 Base de madeira: 50 x 30 x 2 cm;
- 01 Suporte metálico (de antena);
- 03 Parafusos auto-atarraxante chata 4,8 x 50;
- 01 Fio de *Nylon*: 100 cm;
- 01 Ímã permanente: neodímio;
- 01 bobina de 1000 espiras;
- 01 bobina de 600 espiras;
- 01 bobina de 500 espiras;
- 01 bobina de 300 espiras;
- 01 conector de louça;
- 01 LED difuso 5 mm: 1,5 V e 20 mA (qualquer cor);

- 01 Fita isolante;
- 01 Régua escolar;
- 01 Aparelho Celular *Smartphone* com sensor magnético;
- 02 Multímetros;
- 01 chapa de ferro 10 x 3 cm;
- 01 fonte de carregador de celular (12 V);
- 01 bloco metálico em forma da letra “U”;
- 01 moeda.

Obs.: as bobinas podem ser enroladas em um carretel com fio de cobre esmaltado de medidas de 25 a 30 AWG.

3 Construção do experimento pêndulo eletromagnético

Neste experimento, você estudará e analisará a aplicação da Lei de Faraday. Nesse caso, a oscilação de um pêndulo, o qual um objeto magnético se encontra na extremidade, induzirá uma corrente elétrica na bobina de fio de cobre que se encontra fixa e situada abaixo do pêndulo. Para comprovar a existência de uma corrente elétrica, dois LEDs (diodos emissores de luz), compatíveis com a corrente gerada pela bobina, estarão conectados à bobina, acendendo à medida que o pêndulo oscila, e um multímetro ligado na função amperímetro será utilizado para fornecer os valores da corrente elétrica induzida.

De acordo com a Lei de Faraday, a corrente elétrica é gerada devido a força eletromotriz que surge quando há uma variação do fluxo magnético, ocasionado pela variação de linhas de campo magnético, ou seja, graças ao afastamento e aproximação de um objeto magnético, como o ímã permanente. Como mencionado acima, uma corrente elétrica, nesse caso sendo uma corrente alternada devido a mudança de sentido que a corrente sofrerá, percorrerá o fio de cobre da bobina, cujo formato do fio é de um solenoide [4]. A importância do formato do fio de metálico se dá pela intensidade da força eletromotriz gerada. No caso de um solenoide, essa força é proporcional ao número de voltas na bobina, conseqüentemente, quanto mais espiras uma bobina possua, maior será o pico de intensidade do campo magnético gerado pela bobina (equação 1).

$$B = n \frac{\mu_0 i}{2R} \quad (3-1)$$

Sendo: **B** o campo magnético; n o número de voltas da bobina; μ a permeabilidade magnética; i a corrente elétrica e R o raio da bobina. Dado: $\mu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}}$ ou $\frac{\text{H}}{\text{m}}$.

Para comprovar a variação do fluxo magnético, um aparelho celular *smartphone* será posicionado ao lado da bobina para detectar a variação do campo magnético. Para isso, o aplicativo *PhyPhox* (Physical Phone Experiments) – disponibilizado gratuitamente nas lojas de aplicativos - irá coletar o campo magnético durante o experimento e disponibilizar na tela para o usuário, permitindo verificar a mudança do campo magnético a medida que o pêndulo oscila. Isso é possível porque alguns modelos de *smartphones* possuem o sensor chamado

magnetômetro. Posteriormente, os dados serão utilizados para responder as perguntas contidas na sequência didática da próxima seção.

Iniciaremos agora o processo de montagem do experimento: Pêndulo Eletromagnético, sendo necessário realizar os seguintes passos:

1. Posicione o suporte metálico de antena, podendo ser encontrado em casa de materiais para construção, na extremidade da base de madeira. O suporte é composto por um tripé, o qual cada pé tem um orifício para ser fixado. Marque esses orifícios com um lápis ou caneta para, posteriormente, realizar um furo na madeira. Você pode utilizar um prego ou uma furadeira para realizar esse furo. Após realizar o furo, posicione o suporte metálico na posição em que marcou os orifícios e fixe os pés com um parafuso com o auxílio de uma chave Philips. O suporte metálico fixado a base de madeira servirá como um suporte para uma estrutura de cano PVC, o qual será confeccionado a seguir;
2. Com o joelho de $\frac{1}{2}$ em mãos, conecte uma das extremidades no cano de PVC de $\frac{1}{2}$ de 50 cm e a outra extremidade no cano de PVC de $\frac{1}{2}$ de 30 cm, formando uma estrutura no formato da letra “L”. Após a conexão, posicione o lado com a maior dimensão, cano de 50 cm, na base do suporte metálico, posteriormente, rosqueie o parafuso localizado no centro do suporte para fixar o cano, de modo que não possibilite a movimentação do mesmo;
3. Na extremidade oposta a conexão joelho de $\frac{1}{2}$, ou seja, no cano de 30 cm, faça dois furos na vertical, utilizando o prego, de modo que atravesse o cano por completo. A distância entre os dois furos precisa ser cerca de 15 cm. Essa etapa é realizada para fixação dos fios de *Nylon*, simulando um balanço.
4. Passe o fio de *Nylon* nos dois orifícios e amarre as duas extremidades do fio no ímã de neodímio. O ímã ficará suspenso pelo fio, como um balanço. Entretanto, deixe uma distância de 6 cm da base de madeira;
5. Abaixo do ímã, a bobina de cobre de 1000 espiras deverá ser posicionada. Para que o movimento de pêndulo do ímã não choque com a bobina, será necessário regular o fio de modo que o ímã fique suspenso a 1 cm da bobina. Como a bobina em questão

utilizada é de 5 cm, não houve a necessidade de regular, visto que na etapa acima já foi deixado uma distância do ímã-madeira de 6 cm;

6. Com a bobina posicionada abaixo do ímã, conecte as extremidades do fio de cobre da bobina no conector de louça. E prenda o LED nos outros dois terminais do conector de louça;
7. Agora será necessário posicionar os instrumentos de medidas:
 - a. Com o multímetro ligado na função amperímetro, posicione os cabos nos terminais do conector de louça, de modo que tenha contato com o metal do fio;
 - b. Agora será necessário colocar o aparelho celular posicionado ao lado da bobina. Mas antes desse passo será necessário deixar o aplicativo *PhyPhox* selecionado para detectar o campo magnético. Para isso, siga os passos a seguir:
 - i. Abra o aplicativo *PhyPhox* e selecione o Sensor Magnetômetro;



Figura 3-1. Tela inicial do aplicativo *PhyPhox*. [Fonte: autor]

- ii. Ao entrar em magnetômetro, a tela apresentará da seguinte forma.

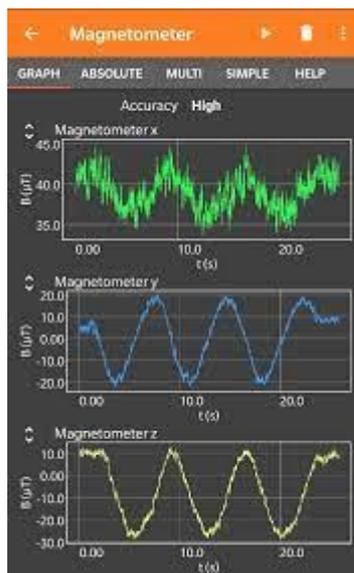


Figura 3-2. Aba magnetômetro do *PhyPhox*. [Fonte: autor]

- iii. Posteriormente, inicie o programa no símbolo *play*, presente na parte superior da aba.
- iv. Agora posicione o celular ao lado da bobina para finalizar a montagem do experimento.

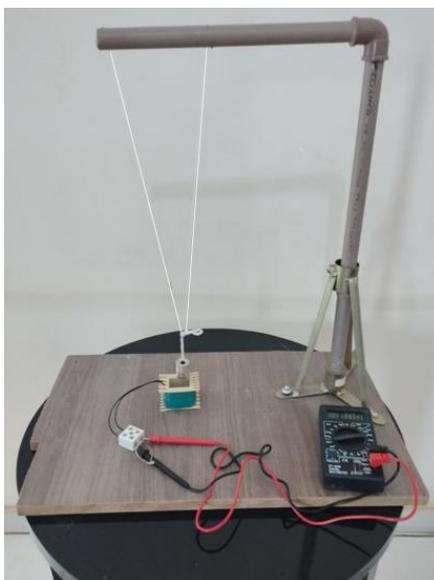


Figura 3-3. Experimento Pêndulo Eletromagnético. [Fonte: autor]

Questionário avaliativo do experimento – Pêndulo Eletromagnético

Com a estrutura toda montada, faça o procedimento a seguir para realização do experimento:

1. Anote os valores de intensidade do campo magnético e corrente elétrica fornecidos pelo aplicativo e multímetro, respectivamente:

Tabela 3-1. Planilha para anotação da corrente elétrica e o campo magnético.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CORRENTE ELÉTRICA (mA)				
CAMPO MAGNÉTICO (μT)				

2. Puxe o ímã de modo que fique com uma inclinação de cerca de 45° com a base de madeira. Depois solte-o, de modo que fique oscilando:
 - a. Verifique se o LED piscou. Anote o observado:
 - b. Verifique se a intensidade do campo magnético está variando. Caso esteja, anote quando a intensidade atingir seu valor máximo;

Tabela 3-2. Planilha para anotação do campo magnético.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CAMPO MAGNÉTICO (μT)				

- c. Verifique a intensidade da corrente elétrica na tela do multímetro. Anote o pico da intensidade.

Tabela 3-3. Planilha para anotação da corrente elétrica.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CORRENTE ELÉTRICA (A)				

- Troque a bobina de 1000 espiras para a bobina de 500 espiras;
- Realize os procedimentos do item 2, novamente. Anote os valores:

Tabela 3-4. Planilha para anotação da corrente elétrica e o campo magnético.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CORRENTE ELÉTRICA (mA)				
CAMPO MAGNÉTICO (μ T)				

- Verifique na tela do multímetro a intensidade da corrente elétrica à medida que a oscilação diminui. Faça anotações do ocorrido.
- O experimento foi realizado, agora você deverá analisar os dados fornecidos pelo aplicativo e responder as perguntas a seguir.

Perguntas:

- Ao oscilar o pêndulo com o ímã permanente pela bobina de 1000 espiras, percebe-se que uma corrente elétrica é acusada pelo multímetro. De acordo com a sua observação, qual o comportamento da corrente elétrica? A intensidade da corrente é fixo ou oscila? Explique.
- Através da equação do campo magnético de um solenoide é possível calcular a intensidade máxima do campo magnético. Para isso, algumas variáveis devem ser aplicadas. Com base nos dados obtidos no experimento e com informações disponíveis na Sequência Didática, calcule:

- a. A intensidade máxima do campo magnético da bobina de 1000 espiras;
 - b. A intensidade máxima do campo magnético da bobina de 500 espiras;
 - c. Caso os valores dos itens 2.a e 2.b sejam diferentes, explique o provável motivo que justifica essa alteração.
3. Ao trocar a bobina de 1000 espiras pela bobina de 500 espiras, o valor da intensidade máxima da corrente elétrica é alterado. Explique:
 - a. o motivo da mudança de valores ocorrer;
 - b. o motivo do LED não piscar.
4. 4. Através dos dados obtidos no item 1 do Procedimento para Teste, explique o porquê de a intensidade da corrente elétrica ser nula, mas o campo magnético possuir um valor. Compare com os dados obtidos quando o pêndulo está oscilando.

4 Construção do experimento transformador

O experimento Transformador consiste em um aparelho composto por uma bobina primária, uma bobina secundária e um bloco metálico, normalmente feito de ferro, que converte a ddp, elevando-a ou diminuindo, dependendo da configuração dessas bobinas. As bobinas, com números de voltas diferentes, são acopladas em um núcleo metálico fechado, onde há uma conexão da bobina primária com uma fonte de alimentação.

O objetivo desse experimento é verificar na prática o postulado da lei de Faraday, através da elevação ou diminuição da ddp em um dos terminais. Para comprovar essa transformação, dois multímetros, cada um conectado nos terminais das bobinas, são utilizados para efetuar a medida. Quando a bobina primária estiver submetida a uma ddp, uma corrente elétrica alternada percorrerá a bobina primária, surgindo assim um campo magnético oscilante que, induzirá uma *fem* no bloco metálico, ocorrendo assim uma corrente elétrica alternada que, como consequência, irá gerar um campo magnético variável, fazendo com que a estrutura metálica seja um eletroímã [4]. Esse campo magnético oscilante induzirá uma *fem* na bobina secundária, gerando uma corrente elétrica. Assim, ao medir a tensão na bobina secundária, seu valor será diferente da bobina primária. O valor gerado pela *fem* dependerá de uma relação (equação 2), a qual é chamada de Indutância Mútua (M), em que depende do fluxo magnético gerado pela bobina primária ϕ_1 , bobina secundária ϕ_2 , intensidade da corrente elétrica que passa pela bobina primária i_1 , corrente elétrica na secundária i_2 e do número de voltas em cada espira: primária N_1 e secundária N_2 [11].

$$M = \frac{N_2 \cdot \phi_2}{i_1} = \frac{N_1 \cdot \phi_1}{i_2} \quad (4-1)$$

A equação 1 pode também ser descrita em função da *fem* (ε) da bobina primária (ε_1) e secundária (ε_2), conforme a equação 2:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4-2)$$

Se considerar a resistência do enrolamento das bobinas igual a zero, cada *fem* deverá ser igual a respectivo valor de tensão da primária e secundária, sendo respectivamente, V_1 e V_2 . Assim, conseguimos uma relação da amplitude de tensão das bobinas com o número de espiras.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4-3)$$

Portanto, além de alterar o valor da corrente elétrica, o segundo terminal terá a intensidade da tensão elétrica alterada.

Iniciaremos agora o processo de montagem do experimento: Transformador, sendo necessário realizar os seguintes passos:

1. Posicione o bloco metálico em forma de “U” sob a base de madeira de modo que o bloco fique na vertical, ou seja, apenas a base do bloco estará em contato com a madeira;
2. Com o bloco metálico posicionado, encaixe as bobinas em cada lado do bloco metálico;
3. Agora plugue a fonte de alimentação (carregador de celular) na tomada da sala. Normalmente a fonte de alimentação é bivolt, entretanto, por precaução é recomendado verificar a tensão de entrada do carregador. Em seguida, conecte os terminais do carregador de celular (tensão de saída) nos terminais da bobina de 600 voltas;
4. Feche o circuito utilizando a chapa de ferro 10 x 3 cm, de modo que a letra “U” fique um “O”;
5. A estrutura já está montada, agora será necessário posicionar os instrumentos de medidas:
 - a. Com os multímetros ligados na função amperímetro, posicione os cabos nos terminais que ligam o carregador à bobina primária, e com a bobina secundária, de modo que tenha contato com o metal do fio;
 - b. Agora coloque o aparelho celular posicionado ao lado da bobina. Mas antes desse passo será necessário deixar o aplicativo *PhyPhox* selecionado para detectar o campo magnético. Para isso, siga os passos a seguir:

- i. Abra o aplicativo *PhyPhox* e selecione o Sensor Magnetômetro, conforme figura 1;
- ii. Ao entrar em magnetômetro, a tela apresentará a imagem conforme figura 2;
- iii. Posteriormente, inicie o programa no símbolo *play*, presente na parte superior da aba.
- iv. Agora posicione o celular ao lado da bobina para finalizar a montagem do experimento.

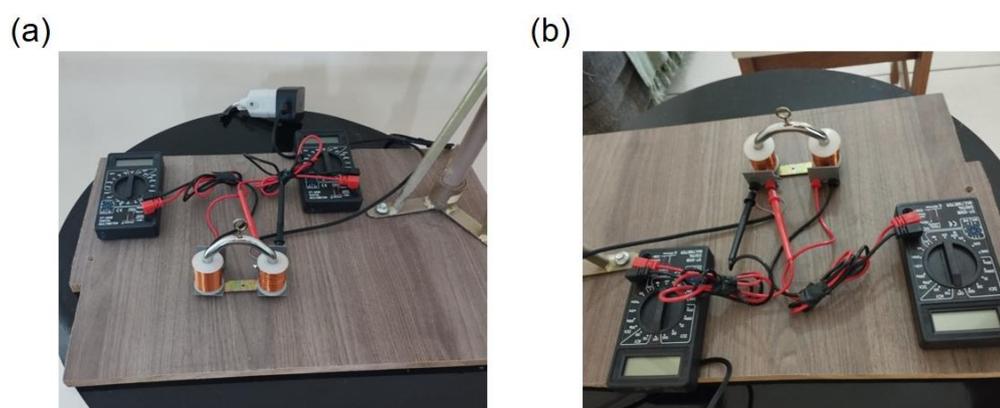


Figura 4-1. Experimento Transformador. (a) visão frontal do experimento. (b) visão traseira do experimento, mostrando a ligação (Fonte: autor)

Questionário avaliativo do experimento – transformador

Com a estrutura toda montada, faça o procedimento a seguir para realização do experimento e responda aos questionamentos:

1. Anote os valores da tensão elétrica da bobina primária e secundária ao ligar o carregador e responda as perguntas:

Tabela 4-1. Planilha para anotação da tensão elétrica.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
BOBINA PRIMÁRIA				
BOBINA SECUNDÁRIA				

- a. Houve diferença na tensão elétrica nos terminais das bobinas? Se sim, aumentou ou diminuiu?
 - b. Caso a resposta anterior tenha sido “sim”, por que houve mudança? Explique.
 - c. Se alterarmos as bobinas, o que acontecerá com a tensão elétrica nos terminais?
 - d. Como é o comportamento do campo magnético ao ligar o circuito?
2. Existe uma relação entre o número de espiras e a tensão elétrica. Calcule o valor esperado da tensão gerada na bobina secundária e compare o valor encontrado com o anotado na tabela da pergunta 1.
 3. Faça o procedimento de teste novamente, conforme pergunta 1, mas agora retire a barra metálica do bloco. O que acontece com a tensão elétrica no terminal da bobina secundária? Relate e justifique o ocorrido.

5 Construção do experimento eletroímã

Eletroímãs são usados em diversos aparelhos, como motores, campainhas e carregadores de celular. De maneira geral, eles são ímãs temporários que dependem da corrente elétrica para que um campo magnético seja estabelecido. Caso a corrente elétrica seja interrompida, não haverá mais presença de campo magnético. Esse princípio é basicamente o mesmo do experimento de Oersted, diferenciando no formato do material condutor.

Para isso, o presente experimento, Eletroímã, utiliza da mesma estrutura do experimento Transformador. Ele consiste em um núcleo metálico no formato da letra U, o qual duas bobinas de diferentes números de voltas 600 e 300 são acopladas em cada lado do núcleo metálico e uma das bobinas é ligada a uma ddp de 12 V (carregador de celular). Ao ligar o filtro de linha, que faz a conexão do carregador a tomada da rede, uma barra metálica deve ser acoplada na parte superior da estrutura em forma da letra “U”, com o intuito de fechar o bloco, fazendo com que o bloco metálico agora fique no formato da letra “O”. Assim, uma corrente elétrica percorrerá a bobina, acarretando na geração de um campo magnético oscilante, visto que a corrente elétrica é alternada. O campo magnético é intensificado ao passar pelo núcleo de ferro, graças a sua elevada permeabilidade magnética (ferromagnético), tornando-o um eletroímã. Uma vez interrompida a passagem de corrente pela bobina, não haverá mais um campo magnético.

O processo de montagem do experimento Eletroímã é exatamente o mesmo do experimento Transformador mostrado no tópico 2.2. Entretanto, o procedimento para montagem deve ser feito de acordo com as instruções a seguir:

Questionário avaliativo do experimento – eletroímã

Com a estrutura toda montada, faça o procedimento a seguir para realização do experimento e responda aos questionamentos:

1. Ao ligar o circuito na fonte de alimentação de 12 V, como é o comportamento do campo magnético informado no aplicativo *PhyPhox*?

2. Ao acoplar a barra metálica, como é o comportamento do campo magnético gerado? Caso o a barra metálica fosse substituída por um material plástico, como você acha que seria o comportamento do campo magnético?
3. Coloque uma moeda na estrutura metálica e verifique se houve uma atração. Caso tenha uma atração, qual a explicação científica para esse fenômeno?

6 Aplicativo *Phyphox*

O *PhyPhox* é uma marca registrada que foi criada no 2º Instituto de Física da RWTH Aachen University. Trata-se de um aplicativo de coleta de dados que está disponível para Android e IOS desde setembro de 2016. Ele permite que os usuários possam realizar alguns experimentos interessantes utilizando os sensores que os celulares *smartphones* possuem. Dependendo do aparelho celular, os sensores que podem estar presentes são: acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, pressão, microfone, GPS, intensidade luminosa e proximidade [5].

Ao selecionar a aba desejada para realizar a medição, uma tela será aberta ao usuário para que ele possa verificar em tempo real os valores. O *app* também oferece o recurso de exportar os dados, caso seja do desejo do usuário para uma posterior análise em outro programa ou *app* [5].



Figura 6-1. Tela inicial do *app PhyPhox*.. (Fonte: PhyPhox)

O sensor utilizado para os experimentos no produto desse trabalho é o magnetômetro, que é um dispositivo que mede a intensidade do campo magnético. Para saber se o aparelho celular possui esse recurso, basta instalar o aplicativo *PhyPhox* (utilize o link para ter acesso ao *app* pela PlayStore https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox) e ao entrar na tela inicial do usuário, verifique se a opção magnetômetro está ativada.

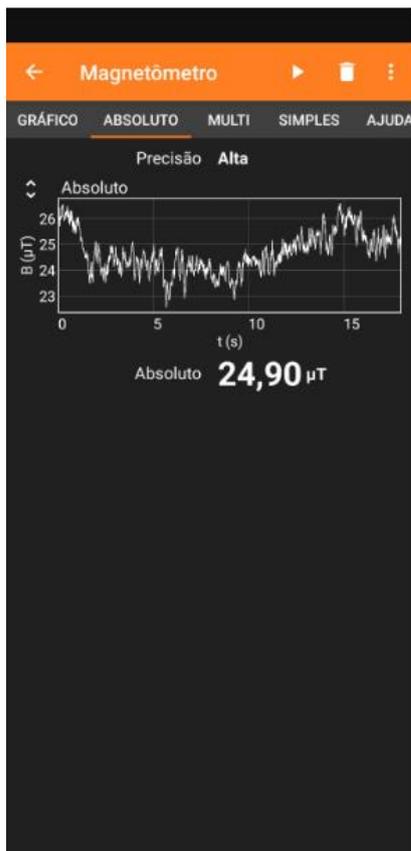


Figura 6-2. Tela do magnetômetro do *app PhyPhox*. (Fonte: PhyPhox)

7 Experimentos: Metodologia de Ensino

Ao término da execução do experimento, alguns questionamentos foram elaborados para que os alunos pudessem respondê-los. Os questionamentos apresentados no tópico 2. têm como objetivo fazer com que o aluno assimile os conteúdos já aprendido em sala de aula, mais precisamente na área de eletromagnetismo, com a prática. Nenhuma questão foi criada de forma que tivesse uma resposta objetiva, portanto, possibilita que o aluno possa respondê-las com as suas palavras, deixando o professor responsável para analisar as respostas. Entretanto, há um padrão das respostas esperadas, conforme veremos a seguir.

7.1 Respostas do experimento – Pêndulo Eletromagnético

A primeira pergunta consiste em utilizar os valores de corrente elétrica obtidos pelo multímetro para verificar o comportamento da corrente elétrica, relacionando com os conteúdos: corrente contínua e corrente alternada já apresentados pelo professor em aulas anterior a realização do experimento. O objetivo é que o aluno relacione o observado, através das anotações da SD, com a corrente alternada, assim concretizando o aprendizado e sabendo distinguir o comportamento que a corrente elétrica pode apresentar.

Para a segunda pergunta da SD é necessário refazer a aplicação do experimento trocando a bobina de 1000 espiras para uma bobina de 500 espiras. Com os dados da corrente elétrica obtido pelo multímetro e o campo magnético pelo aplicativo *PhyPhox*, o aluno terá que refazer o cálculo do campo magnético, utilizando a equação do campo magnético em uma espira disponível na SD, conseqüentemente, relacionar o número de espiras da bobina com a corrente elétrica e o campo magnético. Nessa etapa, o objetivo é relacionar a equação do campo magnético da espira com o observável, no caso a corrente elétrica. Diante dessa informação e outras presentes na SD, espera-se que o aluno consiga expressar numericamente o valor do campo magnético obtido pelas duas bobinas e, com isso, verificar que o número de espiras interfere diretamente no resultado do campo magnético.

A terceira pergunta possui dois questionamentos, o primeiro é sobre os diferentes valores obtidos no experimento quando a bobina é trocada. O aluno utilizará as análises feitas durante o experimento e, com base nessas informações descrever a alteração observada por ele.

O segundo é referente ao brilho do LED, visto que ao trocar de bobina a corrente elétrica terá valor alterado. Nesse caso o aluno deverá também descrever o observável e informar o motivo de acender ou não o LED. Essa pergunta complementa a anterior, visto que o valor da corrente elétrica medido pelo multímetro está relacionado com o número de voltas da espira.

Por fim, a quarta pergunta instiga o aluno a observar que apenas quando o ímã está oscilando que haverá variação do fluxo magnético e, conseqüentemente, geração de corrente elétrica. Espera-se que o aluno relate um valor nulo da corrente elétrica, argumentando que como o ímã está parado em frente a bobina não ocorrerá a indução e, portanto, geração de corrente elétrica. Entretanto, o aluno ao consultar a tela do *smartphone* verificará um valor de campo magnético gerado pelo sensor magnético do celular. Essas perguntas são uma maneira de verificar na prática que há a necessidade de uma oscilação do ímã para que a lei de Faraday seja aplicada.

7.2 Respostas do experimento – Transformador

A primeira pergunta foi referente a detecção da ddp, através do multímetro, na bobina secundária. Espera-se que o aluno consigo identificar a alteração da ddp na bobina primária para a bobina secundária devido ao diferente número de enrolamento entre as bobinas.

Na segunda pergunta o aluno deverá realizar o cálculo, utilizando a equação 22, para obter o valor de ddp na saída, nesse caso na bobina secundária. O valor encontrado deverá ser comparado com o valor detectado pelo multímetro. Conforme já citado nesse tópico, os valores não serão os mesmos, visto que na prática a corrente de Foucault interfere, devendo, portanto, ao aluno usar como justificativa essa variável.

A terceira pergunta questiona o aluno sobre a importância de o sistema ser fechado, ou seja, os blocos metálicos serem no formato da letra “O” e não da letra “U”. Ao realizar a prática, ele verificará que não ocorrerá uma transformação da ddp na bobina secundária quando o bloco não está fechado.

7.3 Respostas do experimento – Eletroímã

A primeira pergunta é referente ao momento em que uma das bobinas acoplada na estrutura metálica é ligada ao carregador. Nessa etapa ainda não há campo magnético sendo gerado pela estrutura metálica e o aluno pode perceber esse fato tentando colocar uma moeda em contato com a estrutura, verificando que não há atração.

Na segunda pergunta, o aluno é indagado em relação ao tipo de material que foi utilizado para fechar a estrutura metálica. Nesse caso foi mencionado substituir uma barra de ferro por um material de plástico. Nesse ponto, espera-se que haja assimilação de que o metal é um condutor de corrente elétrica e que o plástico não possibilitaria a geração de um campo magnético.

A terceira pergunta é referente ao ápice do experimento, a qual é o momento em que a barra de ferro é inserida na parte superior da estrutura, fechando assim o sistema. É pedido ao aluno que descreva o motivo do bloco metálico se tornar um ímã apenas quando o circuito elétrico é ligado. Assim, ele terá que relacionar os conteúdos trabalhados em sala de aula: ímã permanente e eletroímã em conjunto com o observável para descrever.

8 Considerações finais

Os experimentos didáticos do produto em questão foram aplicados em uma sala de aula de uma escola pública de Minas Gerais. Ao construir os experimentos junto aos alunos, alguns problemas ocorreram, sendo necessário realizar algumas modificações. Um deles é a confecção da bobina de cobre esmaltado, em que os alunos tiveram dificuldade em enrolar inúmeras voltas pelo carretel. Nesse caso é recomendado levar uma bobina de cobre já pronta, diminuindo o tempo do experimento e facilitando na hora da montagem.

O produto aplicado em sala ficou dentro da expectativa esperada, pois os alunos acabaram ficando mais interessados em instigar os experimentos e, assim, relacioná-los com as aulas teóricas que tiveram de Lei de Faraday e Lenz. Como colaboração para o produto, o uso do aparelho celular é de grande importância, já que os alunos são orientados a não utilizarem o celular em sala de aula para não atrapalhar no aprendizado. Essa liberdade em utilizar, para fins pedagógicos, acaba criando uma quebra de paradigma de que o celular só atrapalha e passa a ser mais um aliado do aluno.

Esse produto pode também ser utilizado mesmo sem o aluno conhecer teoricamente a Lei de Faraday e Lenz, pois ele desperta a curiosidade do aluno fazendo com que ele procure respostas para os fenômenos que estão acontecendo. Posteriormente, caso esse produto seja aplicado em sala de aula, o professor poderá complementar com aulas teóricas sobre o assunto envolvido. Além disso, como sugestão, o professor pode utilizar os planos de aulas que estão no apêndice A desse trabalho. Os planos de aula foram criados utilizando a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a qual novas informações são inseridas na estrutura cognitiva de forma organizada [7].

9 REFERÊNCIAS

1. PEDRISA, C.M. Características históricas do ensino de ciências. *Ciência & Ensino*, Campinas, n. 11, p. 9-12, 2001.
2. GATTI, B. A. Formação de professores: condições e problemas atuais. *Revista Brasileira de Formação de Professores*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 90-102, mai. 2009.
3. HILGER, T. R.; GRIEBELER, A. Uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativo utilizando mapas conceituais. *Investigações em Ensino de Ciências*, V. 18, n. 1, p. 199-213, 2013
4. SEARS E ZEMANSKY. Física III: Eletromagnetismo/Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford; tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz - 14^o ed. - São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015
5. STAACKS, S., HUTZ, H., HEINKE e STAMPFER, C. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. IOP Science. Publicado 16 de maio de 2018.
6. Reitz, J.R. Fundamentos da teoria eletromagnética/ John R. Reitz, Frederick J. Milford, Robert W. Christy; tradução de Renê Balduino Sander - 12^o reimpressão. - Rio de Janeiro: Elsevier, 1982.
7. AUSUBEL, David P., NOVAK, Joseph D., HANESIAN, Helen. Psicologia educacional. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana , 1980. Página 137.

10 PLANOS DE AULA

Neste capítulo apresento os planos de aula sobre os conteúdos: corrente elétrica, campo magnético e leis de Faraday e Lenz

10.1 Plano de aula 1 – corrente elétrica

Tempo estimado: 01 aula (50 min)

Material necessário: *datashow*, lousa e giz

Aplicação: aulas lecionadas pelo *datashow*, utilizando a lousa e giz como complemento as explicações.

Revisão de Eletrostática

Ao iniciarmos as aulas de eletromagnetismo, estudamos a eletrostática, que é o ramo da física responsável por estudar o comportamento das cargas elétricas em repouso e os fenômenos relacionados, como atração e repulsão elétrica e a força que existe entre as cargas. Agora, no conteúdo Corrente Elétrica, estudaremos os fenômenos envolvidos quando a carga elétrica está em movimento, denominada de eletrodinâmica.

Eletrodinâmica

Corrente Elétrica

Como mencionado, agora trataremos da eletrodinâmica, ramo esse da física que estuda o movimento das cargas elétricas e seus fenômenos envolvidos. Para isso, precisamos relembrar uma característica que um material condutor possui, que é possuir elétrons livres. Entretanto, essas cargas elétricas estão em repouso (figura 1.a) ou em movimentos desordenados (figura 1.b).

Questionamento: Você acha que é possível manipular as cargas elétricas e fazê-las entrar em movimento?

Quando há a presença de um campo elétrico em um material condutor, os elétrons passam a se movimentar em direção oposta as linhas de campo elétrico, conforme figura 1.c. O que gera esse campo elétrico é a aplicação de uma diferença de potencial elétrica (ddp.) nas extremidades do material condutor.

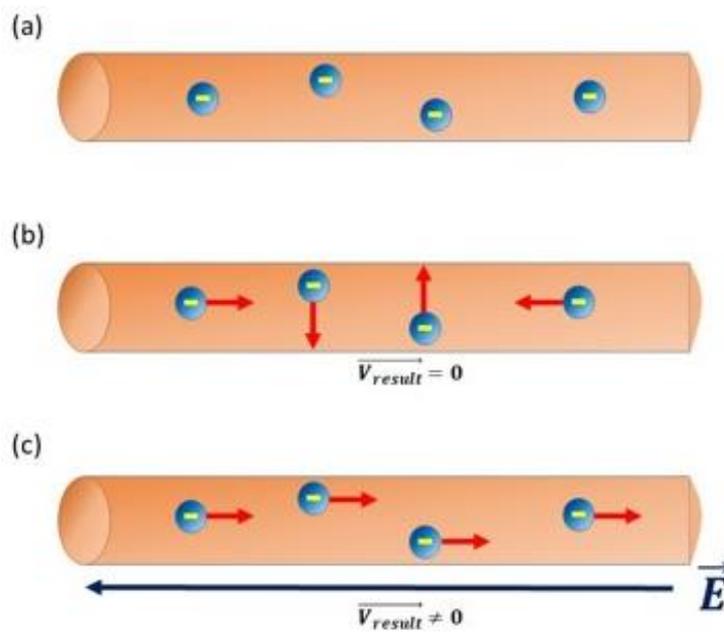


Figura 10-1. (a) Cargas elétricas estáticas. (b) cargas elétricas em movimento desordenado, tendo como resultante uma velocidade igual a 0. (c) carga elétrica em movimento ordenado devido a presença de um campo elétrico uniforme. (Fonte: Autor)

O fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica, devido a ddp existente nas extremidades de um condutor, é denominada de corrente elétrica. Embora o sentido das cargas elétricas do próton e elétron serem opostos, o sentido de propagação da corrente elétrica é definido como sendo sempre no mesmo sentido do campo elétrico, independente do portador de carga elétrica, conforme figura 2.

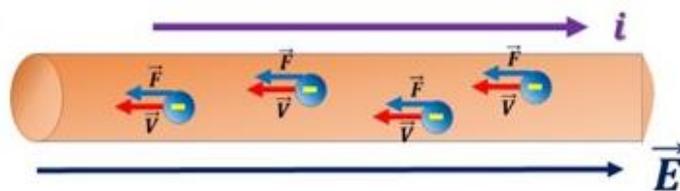


Figura 10-2. A corrente elétrica acompanha o sentido do campo elétrico. (Fonte: Autor)

Analogia

Imagine uma corrente de bicicleta, ela é formada por elos, que ao se unir a outros, forma uma corrente. Como analogia, o elo é como se fosse uma carga elétrica. A união de elos, corrente de bicicleta, em movimento é a corrente elétrica e a força aplicada ao pedal para ocorrer o movimento dessa corrente de bicicleta é a ddp aplicada. No caso da figura abaixo, a carga elétrica é o elétron, portanto, a corrente elétrica gerada seria o movimento no sentido contrário da corrente da bicicleta.

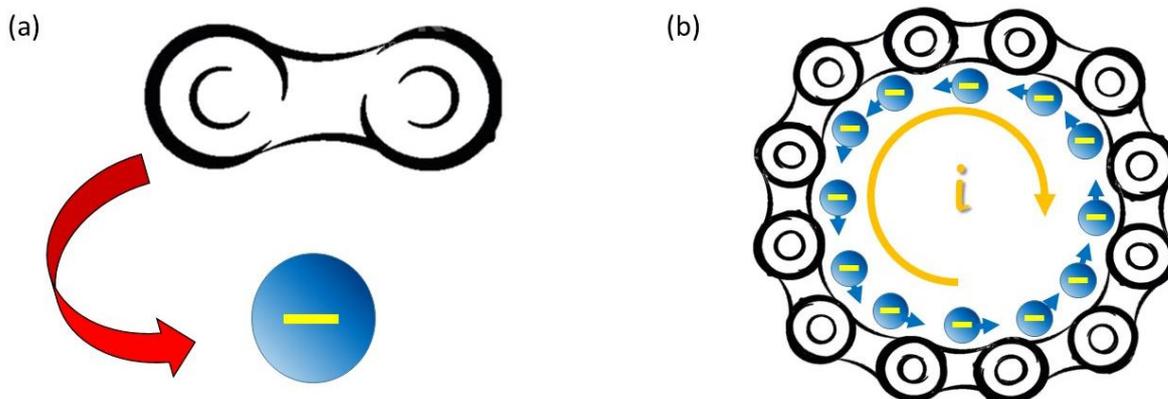


Figura 10-3. (a) Analogia: elo feito de um material metálico com carga elétrica . (b) Analogia: corrente de bicicleta com corrente elétrica. (Fonte: Autor)

A corrente elétrica pode ser expressa matematicamente como sendo a carga elétrica que atravessa uma área de secção reta de um condutor em um intervalo de tempo. Ou seja:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (10-1)$$

Sendo: i a corrente elétrica, ΔQ a carga que atravessa a área de secção reta e Δt o intervalo de tempo.

Como a carga elétrica é dada em Coulomb (C) e o intervalo de tempo em segundos (s), a unidade de medida da corrente elétrica, no Sistema Internacional (SI) é, portanto, C/s, a qual foi denominada de ampère, identificada pela letra A.

Tipos de corrente elétrica

Existem dois tipos de corrente elétrica: contínua e alternada. A primeira é chamada de contínua devido ao sentido de deslocamento ser único e constante. Já a alternada é quando o sentido de propagação da corrente elétrica oscila, ou seja, muda de sentido com frequência devido a inversão da polaridade do potencial aplicado no condutor. Apesar da corrente alternada oscilar constantemente até chegar ao seu destino, ela possui vantagens comparadas a contínua. Uma delas é que possibilita que a ddp a qual está submetida seja transformada com certa facilidade, ou seja, aumentando ou diminuindo a ddp através de um aparato denominado de transformador.

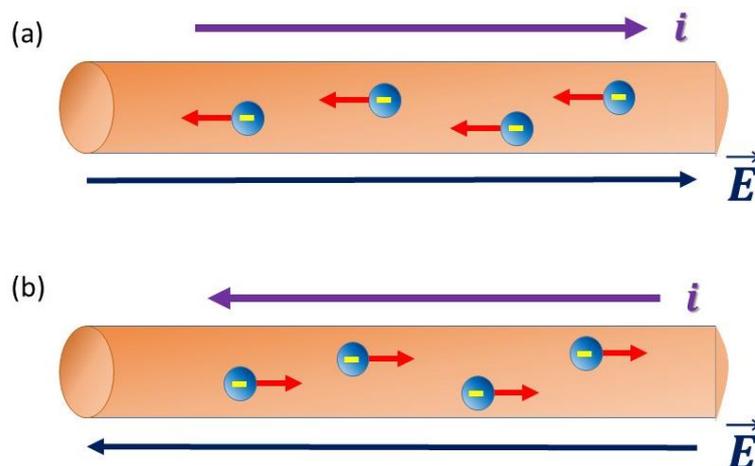


Figura 10-4. Corrente alternada. (a) Corrente elétrica no sentido do campo elétrico. (b) corrente elétrica acompanhando a mudança de sentido do campo elétrico. (Fonte: Autor)

Importância da corrente elétrica

A corrente elétrica tem uma importância incontestável no nosso dia-a-dia. Ela está aplicada em objetos simples, como lâmpadas, televisores, computadores, celulares etc. Em uma lâmpada incandescente, por exemplo, ao acionar o interruptor, uma corrente elétrica atravessa seu filamento localizado em seu interior. Como a corrente elétrica, nesse caso, é de um fluxo ordenado de elétrons, ao percorrer o filamento os elétrons transformam sua energia elétrica em uma energia térmica, fenômeno esse denominado de efeito Joule, fazendo com que o filamento aqueça até ocasionar um brilho. Por esse motivo que a lâmpada incandescente esquenta após algum tempo ligada.

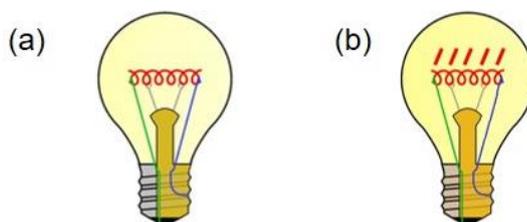


Figura 10-5. Lâmpada incandescente. (a) interruptor desligado, impossibilitando a passagem de corrente elétrica. (b) interruptor ligado, possibilitando a

passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, ocorrendo o efeito Joule. (Fonte: Autor)

O motivo da corrente elétrica ao passar pelo filamento da lâmpada e gerar energia térmica é devido a mudança de estrutura, ou seja, mudança para um material com uma maior resistividade elétrica. Nesse caso, a mudança ocorre do cobre para o tungstênio. Veremos agora com mais detalhe o que é uma resistência elétrica.

Resistência elétrica

A capacidade física de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica é denominada de resistência elétrica. Isso ocorre porque os elétrons livres colidem entre si também com os átomos que constituem o corpo.

Questionamento: Quais os fatores que influenciam na resistência elétrica?

O físico alemão Georg Simon Ohm postulou, em seu trabalho publicado em 1827, a lei que ficou conhecida como lei de Ohm.

1° Lei de Ohm

Essa lei diz que uma resistência elétrica em um circuito equivale à razão entre a ddp a qual o circuito está ligado e a corrente elétrica que a percorre. Ela pode ser expressa matematicamente como:

$$R = \frac{U}{i} \quad (10-2)$$

Sendo: R a resistência elétrica, U a ddp aplicada no circuito em que a resistência está e i a corrente elétrica que a percorre.

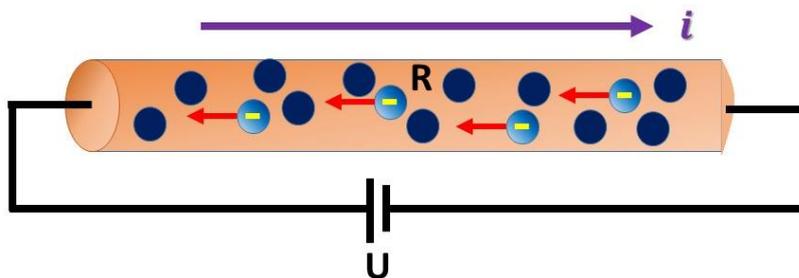


Figura 10-6. Representação de uma resistência elétrica ao ser percorrida por uma corrente elétrica devido a ddp aplicada. As esferas em azul escuro representam os átomos do material. (Fonte: Autor)

2° Lei de Ohm

Outros fatores que podem ser utilizados para estabelecer o valor da resistência elétrica de um material são: o comprimento da resistência (L), a resistividade elétrica que esse material apresenta (ρ) e a área de secção reta desse material (A). Podendo ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (10-3)$$

A resistividade elétrica do material diz o quanto aquele material resiste a passagem da corrente elétrica. O valor de cada material está tabelado. Já a área de secção reta depende do formato do condutor, caso seja um fio metálico, consideramos como sendo um cilindro, em que sua área é expressa pela área de um círculo.

Analogia

Imagine você entrando em uma sala para assistir a uma aula de física. Você observa e tem apenas uma cadeira no fundo da sala para se sentar. Porém, a sala é organizada, as carteiras estão alinhadas de modo que vários corredores surgem entre as fileiras., facilitando o seu acesso a essa cadeira livre. De repente, você percebe que está na sala errada. Ao direcionar a sala correta você visualiza que também possui apenas uma carteira livre no final da fileira. Mas ao contrário da sala anterior, essa é totalmente desorganizada, as carteiras estão desalinhadas e você possui dificuldade de percorrer até o final dessa sala, pois ao se deslocar, você terá que desviar de alunos, mochilas no chão e carteiras no meio do corredor. Portanto, houve uma

resistência para que chegasse até sua carteira. Podemos comparar a sala organizada com um material que possui baixa resistência, ou seja, que não possui tantos obstáculos; já a sala desorganizada seria um material com alta resistência, com múltiplos obstáculos.

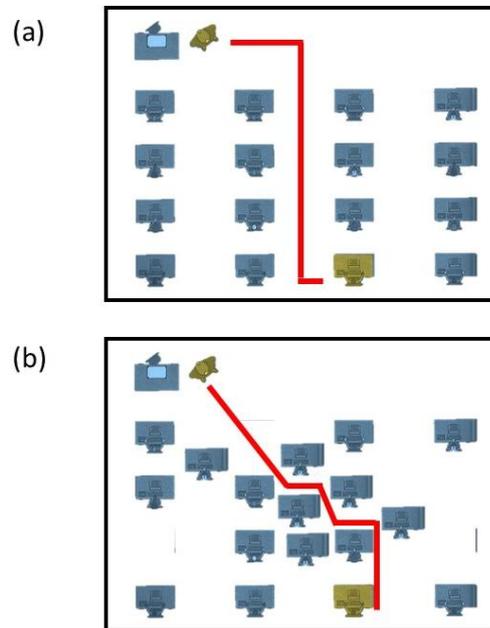


Figura 10-7. (a) Analogia: facilidade de percorrer uma sala de aula organizada com resistência elétrica baixa. (b) Analogia: dificuldade de percorrer uma sala de aula desorganizada com resistência elétrica alta.

Perguntas

1. Por que uma lâmpada, por exemplo, só acende quando o interruptor é acionado?
2. Um simples pedaço de fio de cobre não possui corrente elétrica por si só. O que é preciso para gerar uma corrente elétrica?
3. Qual a diferença entre uma corrente elétrica contínua e de uma alternada?
4. Como é o comportamento de uma corrente elétrica ao transcorrer de um material de menor resistividade para um de maior resistividade elétrica?

10.2 Plano de aula 2– campo magnético

Tempo estimado: 01 aula (50 min)

Material necessário: *datashow*, lousa e giz

Aplicação: aulas lecionadas pelo *datashow*, utilizando a lousa e giz como complemento as explicações.

Magnetismo

História

O campo magnético e a força magnética estão presentes no dia a dia do ser humano. Seja nos dispositivos eletrônicos, como computadores, celulares, micro-ondas ou pelo simples fato de estar presente no planeta Terra. Os primeiros registros da observação de fenômenos magnéticos datam de pelo menos 2500 anos na região da cidade de Magnésia (hoje localizada na Turquia), pelo minério de nome magnetita (Fe_3O_4). No começo houve a tentativa de explicá-lo pela magia.

Até o início do século XIX, o uso de objetos com propriedades magnéticas era limitado a orientação norte-sul, ou seja, utilizada nas navegações.



Figura 10-8. Magnetita. [Istock, 2022]

Os corpos dotados de propriedade magnética são chamados de ímãs, podendo ser naturais, como a magnetita, ou artificiais, como os ímãs de geladeira, os quais são construídos por ligas metálicas ou materiais cerâmicos. Uma de suas características é a capacidade de atrair alguns materiais metálicos.

Propriedade Magnética

Questionamento: O que a bússola tem a ver com magnetismo?

A bússola é composta por um pequeno ímã em forma de agulha suspenso sobre um eixo livre para girar em cima da rosa dos ventos. Essa agulha sempre se orienta para a mesma direção e sentido independentemente do quanto você muda a bússola de posição.

Questionamento: Mas por que a agulha da bússola sempre aponta para a mesma direção e sentido?

Para compreender esse fenômeno, devemos conhecer as propriedades que caracterizam os ímãs. São elas:

- O ímã possui duas regiões, denominadas de polo: polo sul magnético e polo norte magnético.

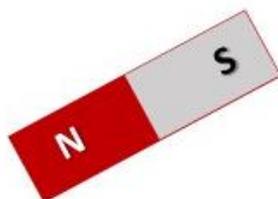


Figura 10-9. Representação de um ímã, composto por dois polos magnéticos: norte e sul.

- Ao aproximarmos dois ímãs, verificamos que quando os polos magnéticos de mesmo nome estão frente a frente, há uma repulsão; já quando os polos magnéticos de nomes diferentes estão frente a frente, há a atração.



Figura 10-10. Interação entre os polos. (a) polos de mesmo nome se repelem. (b) polos de nomes diferentes se atraem. [Fonte: autor]

- Os polos de um ímã são inseparáveis, independentemente se for cortado ao meio. Portanto, um ímã sempre será um dipolo magnético, ou seja, apresentará dois polos.

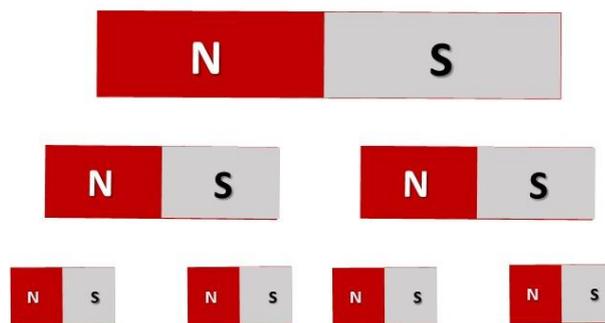


Figura 10-11. Ímã fragmentado, mas mantendo sua característica magnética: sempre um dipolo. [Fonte: autor]

Agora sim podemos compreender o porquê do bússola sempre apontar para a mesma direção e sentido. Acabamos de ver que um ímã possui dois polos magnéticos, assim como o ímã, a Terra também é um dipolo magnético. Em seu núcleo externo, cerca de 3 mil km de profundidade, acredita-se haver ferro e níquel em estado de fusão. Esse fluido, em constante movimento, é o motivador para que gere um campo magnético.

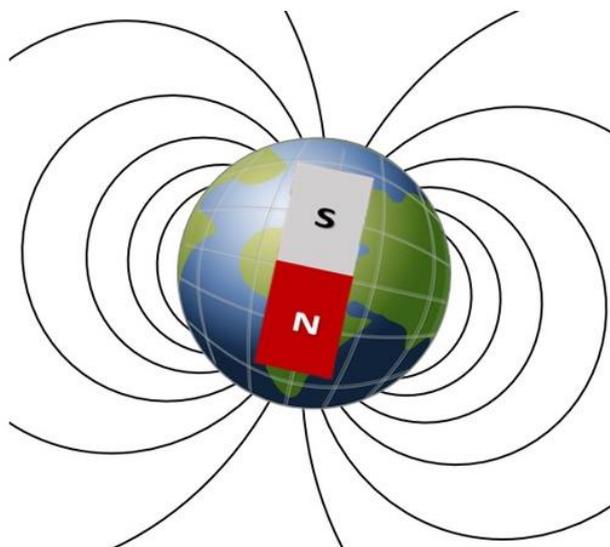


Figura 10-12. Polos magnéticos da Terra. [Fonte: autor]

Onde é o polo norte geográfico terrestre é o polo sul magnético; já onde é o polo sul geográfico é o polo norte magnético. Como já havíamos verificado, os polos de nomes diferentes se atraem, portanto, a extremidade da agulha de uma bússola que aponta para o sul magnético terrestre (norte geográfico) é denominada de polo norte magnético. Em

contrapartida, a outra extremidade da agulha só poderá ser o polo sul magnético. Portanto, independentemente o quando você oscila a bússola, ela sempre irá parar apontada para a mesma direção.

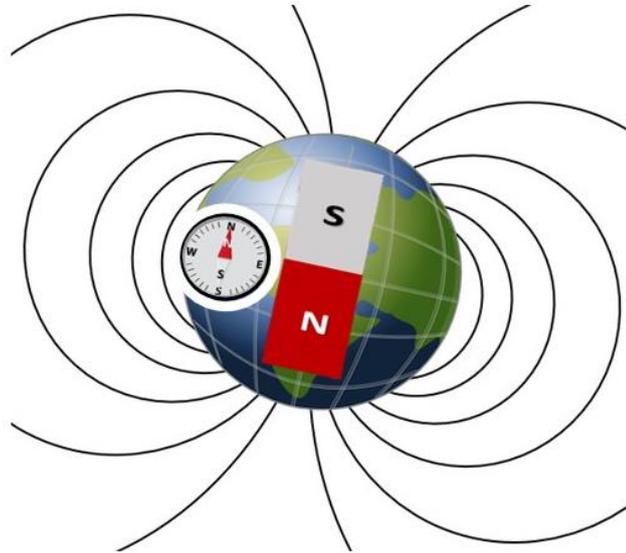


Figura 10-13.Bússola sendo orientada pelo ímã terrestre. [Fonte: autor]

Linhas de Campo Magnético

Questionamento: Qual é a interação que ocorre para que ímã atraia ou repele outro ímã?

Assim como uma carga elétrica possui campo elétrico ao seu redor; o ímã também possui um campo, denominado de campo magnético, que sai no polo norte magnético e entra para o polo sul magnético. Esse campo pode ser representado por linhas, chamadas de linhas de campo magnético.

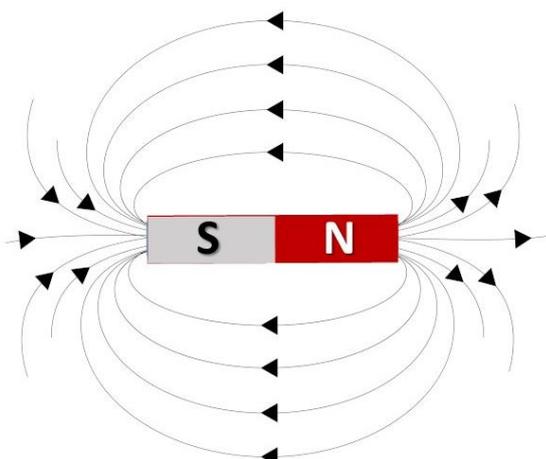


Figura 10-14. Linhas de campo magnético ao redor do ímã.

Quando as linhas de campo magnético de um ímã se interagem com as linhas de outro ímã, duas situações podem ocorrer: a primeira é quando os polos dos ímãs que estão dispostos frente a frente são opostos. Nesse caso, as linhas de campo se conectarão, ocorrendo a “permissão” para que os ímãs se atraem; já quando os polos dos ímãs que estão dispostos frente a frente são iguais, não ocorrerá a conexão das linhas de campo, ocorrendo a repulsão dos ímãs.



Figura 10-15. Interação entre as linhas de campo magnético. (a) conexão das linhas de campo do polo sul para o norte de outro ímã. (b) não interação entre as linhas de campo magnético.

A intensidade do campo magnético, ou seja, o quão vai atrair ou repelir um objeto, está associado a quantidade de linhas que está sendo gerado pelo polo norte magnético.

- Quanto mais linhas de campo magnético, maior a atração ou repulsão;
- Quanto menos linhas de campo magnético, menor a atração ou repulsão.

A distância é outro fator que interfere na atração ou repulsão. Quanto mais perto do ímã, maior a atração ou repulsão, ou seja, a medida que um objeto é afastado a intensidade da atração ou repulsão diminui. Isso acontece devido a diminuição das linhas de campo magnético que interagem com o objeto.

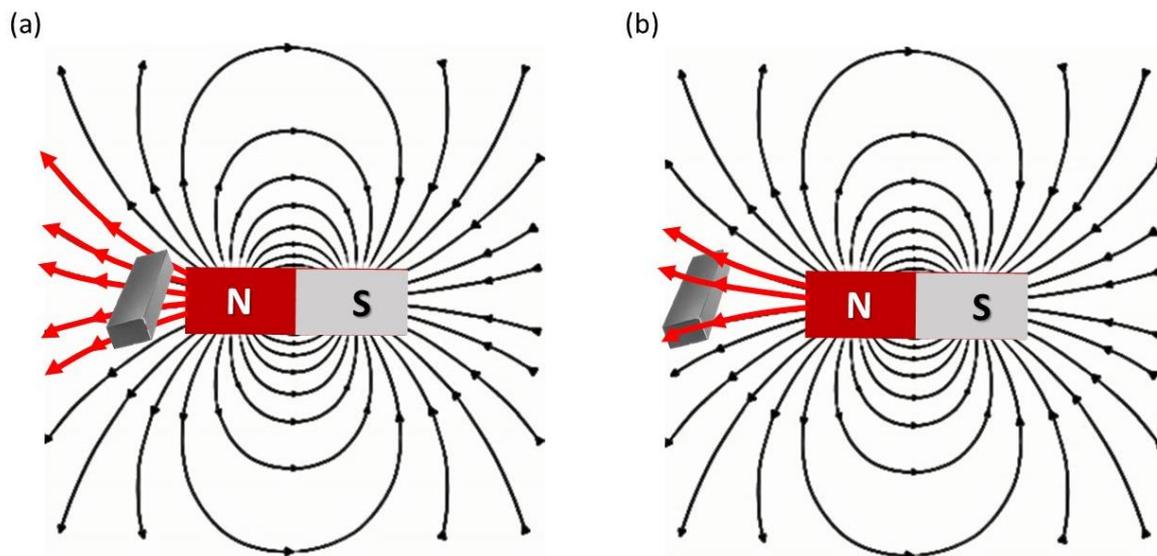


Figura 10-16.Interação das linhas de campo magnético com um objeto metálico. (a) ativação de 5 linhas de campo magnético ao posicionar o objeto próximo ao polo norte. (b) ativação de 3 linhas de campo magnético ao afastar o objeto do polo norte.

Natureza do Magnetismo

Questionamento: O que faz gerar um campo magnético?

A natureza do comportamento magnético está relacionada com o que chamamos de domínio magnético alinhado. No interior dos materiais magnético, os elétrons possuem um movimento intrínseco, denominado de *spin*. Quando esses *spins* estão alinhados, dizemos que há um domínio magnético orientado.

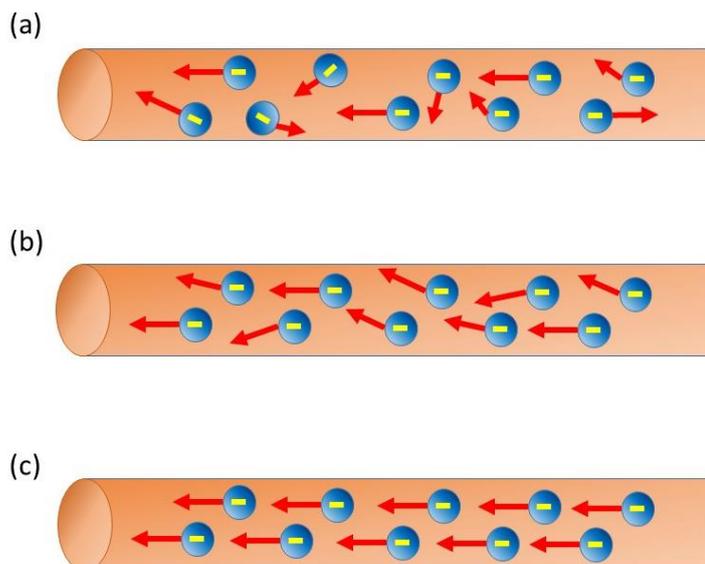


Figura 10-17. Domínio magnético dos materiais. (a) ausência de alinhamento do domínio magnético, caracterizando um objeto não magnetizado. (b) domínio magnético parcialmente alinhado, resultando em um material com pouca magnetização. (c) alinhamento dos domínios magnéticos, gerando um material magnetizado.

Além dos materiais com propriedades encontrados na natureza e criados artificialmente, existem os eletroímãs, como veremos na próxima aula.

Perguntas

1. Por que um prego, por exemplo, não possui a propriedade de atrair pedaços de ferro?
2. O que seria necessário acontecer, microscopicamente, para que o objeto prego da pergunta 01 se torne um ímã?
3. Por que ao afastarmos um pedaço de metal de um ímã há uma diminuição da atração?
4. Por que a bússola sempre aponta para a mesma direção?

10.3 Plano de aula 3 – lei de Faraday e lei de Lenz

Tempo estimado: 02 aula (1h40min)

Material necessário: *datashow*, lousa e giz

Aplicação: aulas lecionadas pelo *datashow*, utilizando a lousa e giz como complemento as explicações.

Eletromagnetismo

História

Antes do século XIX, não havia uma relação entre os campos: Eletricidade e Magnetismo. Os cientistas estudavam e realizavam experimentos separadamente, até que em 1819, o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu, de forma acidental, uma relação direta entre o magnetismo e a eletricidade. Em um de seus experimentos, uma corrente elétrica passava por um material condutor em forma de espira, assim ele havia notado que o ponteiro (agulha imantada) de uma bússola que estava próximo ao experimento se movia quando a espira era conectada ou desconectada pela fonte. Esse experimento ficou conhecido como experimento de Oersted e foi fundamental para estabelecer uma relação entre o **magnetismo** e a **eletricidade**, constituindo assim um novo ramo da Física, o **Eletromagnetismo**.

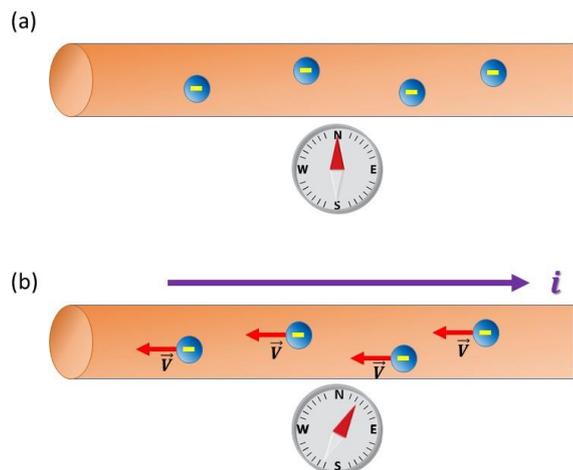


Figura 10-18. Representação do experimento de Oersted. (a) comportamento da bússola sem a presença de uma corrente elétrica. (b) comportamento da bússola ao passa uma corrente elétrica em um circuito.

Diante da relação estabelecida, a comunidade científica se voltou a realizar experimentos e a estudar possíveis fenômenos que pudesse ser explicado por esse novo ramo. Dentre as diversas descobertas, daremos enfoque a duas: **Indução de Faraday** e a **Lei de Lenz**.

Lei de Faraday

Em 1831, o inglês Michael Faraday realizou uma das maiores descobertas para o Eletromagnetismo. Ao realizar vários testes, um deles chamou a sua atenção. Consistia em dois circuitos elétricos próximos um ao outro que, ao ligar o primeiro circuito a uma fonte de alimentação, uma corrente elétrica era detectada no segundo circuito. O mesmo acontecia ao desligar o circuito, porém, o sentido da corrente era oposto.

Questionamento: Por que esse experimento impressionou Faraday?

Até então, tinha-se o conhecimento de que a corrente elétrica alternada ao passar por um fio condutor gerava um campo magnético - experimento de Oersted. Mas no experimento de Faraday, uma corrente elétrica no primeiro circuito gerava uma corrente no segundo circuito. Para explicar isso, Faraday imaginou que o campo magnético, gerado pelo primeiro circuito, ao entrar em contato com o segundo circuito iria induzir uma corrente elétrica. Para verificar essa hipótese, Faraday então resolveu aproximar um ímã de um circuito elétrico. Para sua surpresa, era detectado corrente elétrica à medida que o ímã se aproximava e afastava - processo esse que mais tarde levou ao conceito de *variação do fluxo magnético*. Ele também se indagou sobre a

possibilidade de oscilar o circuito próximo do ímã, o qual foi verificado de que a indução de corrente elétrica também ocorria.

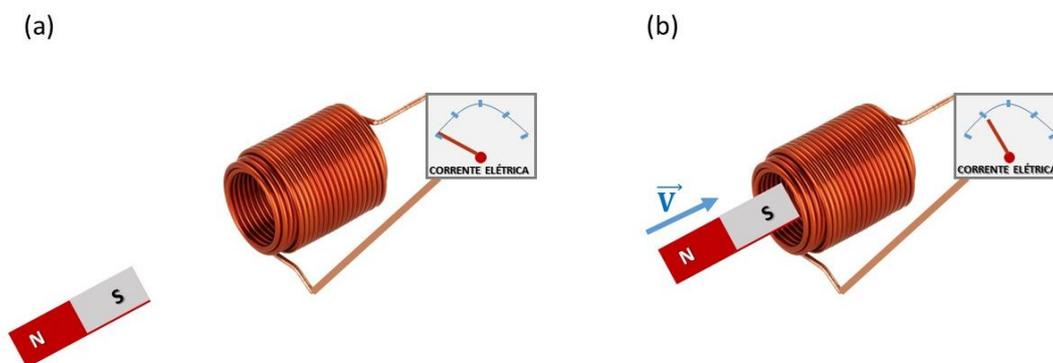


Figura 10-19. Experimento de Faraday. (a) nenhum valor de corrente elétrica detectado ao deixar um ímã parado próximo a bobina metálica. (b) corrente elétrica detectada ao aproximar o ímã da bobina metálica. (Fonte: Autor)

Ao aproximar e afastar o ímã do circuito elétrico, haverá uma variação do magnetismo, pois a intensidade da corrente ora aumenta e ora diminui. Dizemos que está ocorrendo uma variação do fluxo magnético nesse caso.

Analogia:

Como analogia utilizaremos o fenômeno da chuva. Onde a nuvem carregada é um material magnetizado, as gotas de água que caem são as linhas de campo magnético e a região onde as gotas caem é a área. Quanto mais gotas caem nessa região, mais intenso é a chuva, ou seja, transcrevendo para eletromagnetismo, quanto mais linhas de campo magnético atravessa uma determinada área, maior é o fluxo magnético.

Questionamento: Mas por que a variação do fluxo magnético gera uma corrente elétrica?

Esse questionamento nos leva ao ponto fundamental, o qual denominamos de Lei de Faraday. Ela diz que o fluxo magnético é o responsável por gerar o que chamamos de força eletromotriz (*fem*) no circuito elétrico que, conseqüentemente, induzirá uma corrente elétrica.

A *fem* é o trabalho realizado sob uma carga elétrica por uma força não eletrostática. Portanto, o deslocamento dessa carga elétrica não tem relação com uma ddp, até porque não existe uma fonte de alimentação no experimento de Faraday.

Podemos fazer uma analogia entre a *fem* e a pressão para compreendermos melhor. A grandeza física pressão é uma força aplicada em uma determinada área. Considerando a área como uma carga elétrica e a força com uma “força” que não seja elétrica. Assim, a *fem* é uma “força” aplicada na carga elétrica

Relação: Corrente Elétrica e Campo Magnético

Campos magnéticos gerados por correntes elétricas estão no nosso dia a dia, como em circuitos elétricos de aparelhos eletrônicos ou na própria fiação da rede elétrica nas nossas casas.

A intensidade do campo magnético e as linhas de campo magnético dependem do formato do condutor.

Retilíneo

As linhas de campo magnético produzidas por uma corrente que passa por um condutor retilíneo são circunferências concêntricas ao fio. Para saber o sentido do campo magnético, basta aplicar a regra da mão direita. Com o polegar esticado, posicione conforme o sentido da corrente elétrica. Feche os outros dedos, de forma que toquem a palma da mão. O sentido que você utilizou para fechar os dedos será o mesmo do campo magnético gerado.

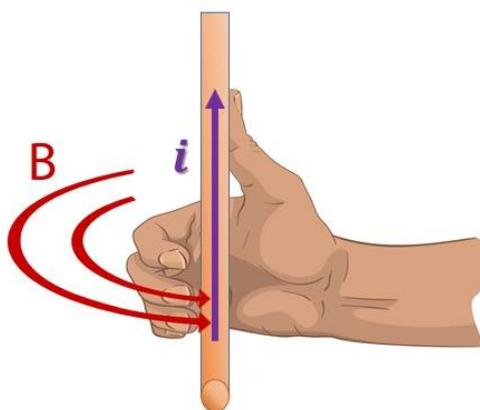


Figura 10-20.Regra da mão direita. O polegar acompanha o sentido da corrente elétrica e os outros dedos indicam o sentido do campo magnético. (Fonte: Autor)

A intensidade do campo magnético pode ser calculada pela equação:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi d} \quad (10-4)$$

Sendo: B a intensidade do campo magnético, μ a permeabilidade magnética do meio e d a distância do condutor retilíneo até um ponto P.

Espira

A passagem de corrente elétrica pela espira gera um campo magnético cujas linhas de campo têm uma configuração diferente daquela que é típica do condutor retilíneo. Nesse caso, o campo gerado é perpendicular ao círculo condutor que forma a espira. Através da regra da mão direita modificada é possível compreender como é o sentido do campo magnético. Nessa regra o polegar agora representa o campo magnético e os outros quatro dedos representam a corrente elétrica. Portanto, os dedos acompanham a direção da corrente, onde as unhas apontam para o sentido dessa corrente; já o polegar esticado informa onde será a direção e o sentido do campo magnético.

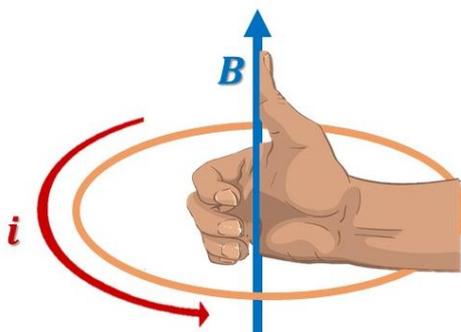


Figura 10-21.Regra da mão direita modificada. Os quatro dedos acompanham o sentido da corrente elétrica e o polegar indicada o sentido do campo magnético. (Fonte: Autor)

A intensidade do campo magnético no centro de uma espira pode ser calculada pela equação:

$$B = \frac{\mu_0}{2R} i \quad (10-5)$$

Sendo: B a intensidade do campo magnético, μ a permeabilidade magnética do meio e R o raio da espira. **Dado:** $\mu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}}$ ou $\frac{\text{H}}{\text{m}}$.

Caso o condutor tenha mais de uma espira, basta acrescentar a equação uma variável, n , que representará o número de espiras. Portanto:

$$B = n \frac{\mu_0}{2R} i \quad (10-6)$$

Lei de Lenz

A lei de Lenz foi embasada pelo princípio da conservação de energia. A primeira ilustração da figura abaixo mostra um ímã com o polo norte direcionado para um circuito elétrico circular. Ao aproximar o ímã do circuito elétrico, de acordo com a Lei de Faraday, uma corrente elétrica será induzida devido a variação do fluxo magnético, como consequência, um campo magnético é gerado pelo circuito para se opor a força magnética do ímã. A medida que se aproxima o ímã, a força magnética aumenta e ao afastá-lo diminui, demonstrando haver uma conservação do campo magnético.

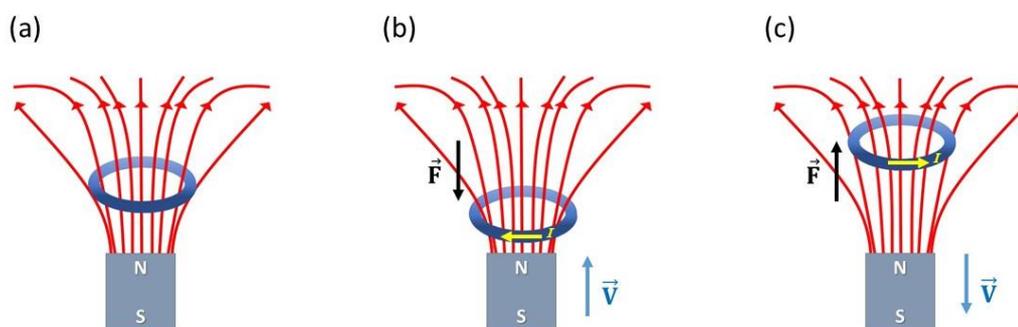


Figura 10-22. Lei de Lenz para definir o sentido da corrente elétrica. (a) ímã parado na presença de um campo magnético. (b) força magnética oposta a força magnética do ímã ao aproximar, induzindo uma corrente no sentido anti-horário. (c) força magnética a favor da força magnética do ímã ao afastar, induzindo corrente no sentido horário. (Fonte: Adaptado)

Isso significa que um campo magnético é criado pelo circuito fechado para se opor ao campo magnético do ímã.

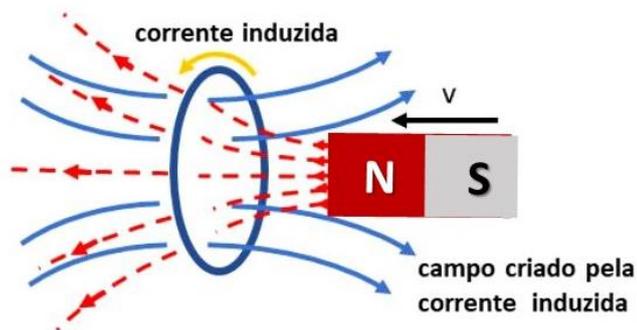


Figura 10-23. Campo magnético gerado pelo circuito em espira para se opor ao campo magnético do ímã. (Fonte: Adaptado Sears, 2015)

Perguntas

1. É possível fazer a agulha de uma bússola, distante de qualquer ímã permanente, mudar de direção?
2. Qual a diferença do experimento de Oersted com o realizado por Michael Faraday?
3. Se um ímã ficar parado próximo a um condutor fechado, haverá a indução de corrente elétrica? Explique.
4. A corrente elétrica induzida pelo condutor fechado, devido a oscilação de um ímã nas proximidades, poderá gerar um campo magnético? Se sim, como é o comportamento das linhas de campo?