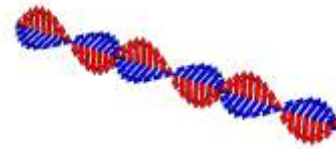
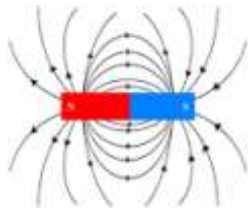
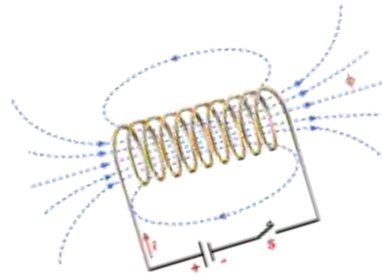


APÊNDICE E



$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$$



ATIVIDADES TEÓRICO-PRÁTICAS DE ELETROMAGNETISMO: DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA ÀS CORRENTES DE FOUCAULT

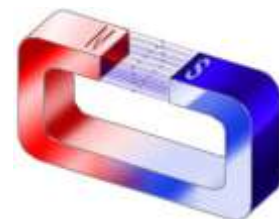
$$\frac{U_p}{N_p} = \frac{U_s}{N_s}$$



$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$$



$$P = \frac{\varepsilon^2}{R}$$



Organizadores: Elissandra Beneti Cateli

Cesar Vanderlei Deimling

Natalia Neves Macedo Deimling

SUMÁRIO

Apresentação	105
1. FREIO MAGNÉTICO I	108
1.3 Atividade Teórico Prática I	113
2. GERADOR ELÉTRICO	117
2.3 Atividade Teórico Prática II	122
3. FREIO MAGNÉTICO II	125
3.3 Atividade Teórico Prática III	131
4. TRANSFORMADOR DESMONTÁVEL	136
4.3 Atividade Teórico Prática IV	141

REFERÊNCIAS

APRESENTAÇÃO

O estudo da Física no ensino médio é muito importante devido sua relação com o cotidiano do aluno, faz parte do desenvolvimento do ser humano, está relacionado com a Ciência Tecnologia e Sociedade – CTS. Um marco nesta evolução aconteceu no século XIX, quando interligaram o magnetismo com a eletricidade, o Eletromagnetismo, a partir desta contribuição a sociedade teve grandes avanços significativos, como motores elétricos, geradores elétricos, fogões por indução, dentre outros aspectos.

Foi com base nesses princípios que realizamos uma sequência de Atividades Teórico-Práticas para o Ensino do Eletromagnetismo, especificamente: A Indução Eletromagnética e as Correntes de Foucault, uma vez que o mesmo é pouco tratado nas escolas públicas e quando trabalhado, costumeiramente é desenvolvido de maneira muito superficial.

Trata-se de um material desenvolvido a partir de uma pesquisa de mestrado, vinculada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, polo Campo Mourão, sob a supervisão da Sociedade Brasileira de Física.

O objetivo deste trabalho consistiu em identificar e analisar as contribuições e as limitações dos livros didáticos de Física do ensino médio¹², tendo em vista, a partir de suas limitações, elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático-pedagógica para o ensino de tópicos do conteúdo de Eletromagnetismo, em especial a relação existente entre a força magnética e as correntes de Foucault, decorrentes dos efeitos de indução magnética.

Consideramos que este material possa contribuir para uma melhor aprendizagem dos estudantes do ensino médio sobre este conteúdo. Esperamos também que esta unidade contribua para a prática docente de professores de Física desse nível de ensino, tendo em vista oferecer-lhes uma estratégia didática diferenciada, crítica, coerente e sistematizada que possa contribuir para o bom desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem.

Sabemos que muitas das dificuldades no ensino de Física não estão relacionadas apenas a forma como o professor desenvolve os conteúdos em sala de aula, uma vez que essa forma depende, direta ou indiretamente, dos princípios e concepções, das finalidades e das condições objetivas e subjetivas

¹² Livros adotados pelo Núcleo Regional de Educação de Goioerê, estado do Paraná.

que norteiam e permeiam a educação escolar e, mais especificamente, o processo de ensino-aprendizagem. Entretanto, partindo do princípio de que a educação, ainda que elemento determinado, não deixa de influenciar o elemento determinante, consideramos que a forma como os conteúdos são desenvolvidos em sala de aula também necessita ser ponderada no momento de análise desse processo, tendo em vista, também, a transformação das concepções, finalidades e condições que são postas. Assim, se consideramos a necessidade de um ensino que vise à articulação entre teoria e prática, precisamos igualmente pensar e em algumas das condições materiais que são necessárias para que tal articulação seja favorecida dentro de sala de aula.

A despeito das críticas desenvolvidas, o fato é que o professor, mesmo dispondo de um material que, dadas as suas limitações, pode favorecer o trabalho com os diferentes conteúdos disciplinares em sala de aula, possui uma baixa carga horária de trabalho em sala para o desenvolvimento de tais conteúdos, o que, por sua vez, pode gerar dificuldades no desenvolvimento de um trabalho aprofundado e problematizador que vise à efetiva articulação entre teoria e prática no trabalho com os conteúdos em sala de aula.

Há muitas décadas, a discussão sobre a importância da relação entre teoria e prática e entre conhecimento científico e cotidiano na formação escolar tem permeado diversos estudos e pesquisas de diferentes áreas do conhecimento e, em especial, da área de ensino. Todavia, a despeito dos diferentes estudos e análises já realizadas ou em andamento, observamos ainda que, em muitas situações, os conteúdos estudados em âmbito escolar são trabalhados de forma desconexa da prática social, o que, frequentemente, faz com que os estudantes apresentem algumas dificuldades em relacionar os conteúdos curriculares à realidade cotidiana.

Por esses e outros motivos, apresentamos a seguir uma sequência de atividades teórico-práticas sobre Indução Eletromagnética e correntes de Foucault, divididas em quatro partes:

Na primeira etapa, buscamos conhecer um pouco da história do Eletromagnetismo, quem foi Michael Faraday e suas contribuições para a Física, assim como demonstrar qualitativamente o fenômeno da Indução Eletromagnética por meio da frenagem do ímã, analisando a queda do mesmo

no interior de um tubo condutor, não-ferromagnético (Cobre), em relação a queda do mesmo ímã no interior de um tubo de material isolante (PVC).

Na segunda etapa, objetivamos demonstrar qualitativamente a Lei de Faraday, ou seja, que a força eletromotriz induzida numa bobina é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético nela e inversamente proporcional ao intervalo de tempo em que essa variação ocorre. Queremos também discutir de maneira prática como a Lei de Lenz é aplicada em diferentes situações. Ao final dessa etapa, relacionaremos o conceito de conservação de energia mecânica com o conteúdo de eletromagnetismo;

Na terceira etapa, propomos a observação do fenômeno físico muito importante, as correntes de Foucault, que surgem em qualquer condutor exposto a uma variação de fluxo magnético. Para exemplificar esse fenômeno, usaremos um disco condutor de alumínio (paramagnético) exposto a um fluxo variável do campo magnético. Também iremos avaliar e discutir diferenças causadas pela intensidade de fluxo magnético aplicado no disco, assim como variando também o formato dos mesmos. Ao final, esperamos que os alunos sejam capazes de relacionar o conceito de conservação de energia mecânica com o conteúdo de eletromagnetismo.

Na quarta etapa, buscamos abordar experimentalmente o funcionamento dos transformadores por meio de demonstração, bem como relacionar a indução de correntes em bobinas e discutir o acoplamento magnético. Por final, verificaremos a relação existente entre a variação de tensão e a força eletromotriz com a Lei de Faraday.

Todas essas etapas foram elaboradas com base em um Plano de Unidade, disponível para consulta em anexo a este material. Todas as atividades propostas e desenvolvidas têm como base teórico-metodológica a Pedagogia Histórico-Crítica, a qual propõe, entre outros aspectos, a abordagem dos conteúdos em suas diferentes dimensões, tendo em vista a problematização da prática social.

Esperamos que este material possa contribuir para sua prática docente.

ATIVIDADE TEÓRICO-PRÁTICA I

1. Freio Magnético I

1.1 Objetivo: Demonstrar qualitativamente a frenagem do ímã quando deixado cair no interior de um tubo condutor não-ferromagnético (Cobre) em relação a queda do mesmo ímã no interior de um tubo de material isolante (PVC).



02 Horas Aula

1.2 Fundamentação Teórica:

Para compreendermos Freio Magnético temos que voltar um pouco para entendermos as origens do Eletromagnetismo.

Mas, afinal, o que é eletromagnetismo?

O eletromagnetismo busca explicar a relação entre o magnetismo e a eletricidade. Um dos conceitos-chave é o de campo eletromagnético.

Como é abordado por Gaspar (2011), o conceito de campo surgiu com a observação de que um ímã alterava as propriedades da região próxima a ele. Esse efeito produzido nas vizinhanças do ímã que foi chamada de campo magnético. Surgiram assim estudos que buscavam relacionar o campo magnético com outros ramos da Física, como por exemplo, a eletricidade.

A abordagem histórica nos mostra um pouco das contribuições que o pesquisador Michael Faraday, mostrado na **Figura 1**, físico e químico inglês fez ao longo de seus estudos. Na Física contribuiu com os estudos do Eletromagnetismo, verificando que a variação do fluxo magnético gerava uma corrente induzida. Inicialmente, Faraday não conseguiu chegar a



Figura 1: Imagem de Michael Faraday (1791-1867)

uma lei que indicasse como determinar o sentido da corrente induzida. Foi somente no ano de 1834, poucos anos após a publicação dos trabalhos de Faraday, que o físico russo Heinrich F.E. Lenz apresentou uma regra, atualmente conhecida como Lei de Lenz, que permite indicar o sentido da corrente induzida.

Conforme a Lei de Lenz, quando um ímã se

O que ocorre ao aproximar um ímã de uma bobina (espira)?

aproxima de uma espira, surge uma corrente induzida na espira. Essa corrente faz surgir um campo magnético, cujo sentido pode ser determinado pela regra da mão direita. Ao aplicar essa regra verifica-se que o campo magnético induzido pela espira tem sentido oposto ao campo magnético do ímã. Uma visão simplificada do problema pode ser obtida imaginando que a espira possui um comportamento análogo ao de um magneto com polaridade invertida ao do ímã, oferecendo dessa maneira uma força repulsiva durante a aproximação. Uma vez que o movimento do ímã cessa, a corrente elétrica na espira se torna nula, indicando que a sua existência está condicionada à variação de fluxo magnético gerada pelo movimento do ímã. Se fizermos o contrário, ao afastarmos o ímã da bobina perceberemos que a corrente induzida apresenta sentido contrário ao da situação anterior e ao utilizar novamente a regra da mão direita é possível perceber que o campo magnético criado pela corrente induzida na espira tem o mesmo sentido do campo magnético do ímã. Abaixo a **Figura 2** apresenta esquematicamente a Lei de Lenz, ilustrando os casos de aproximação e afastamento do ímã.

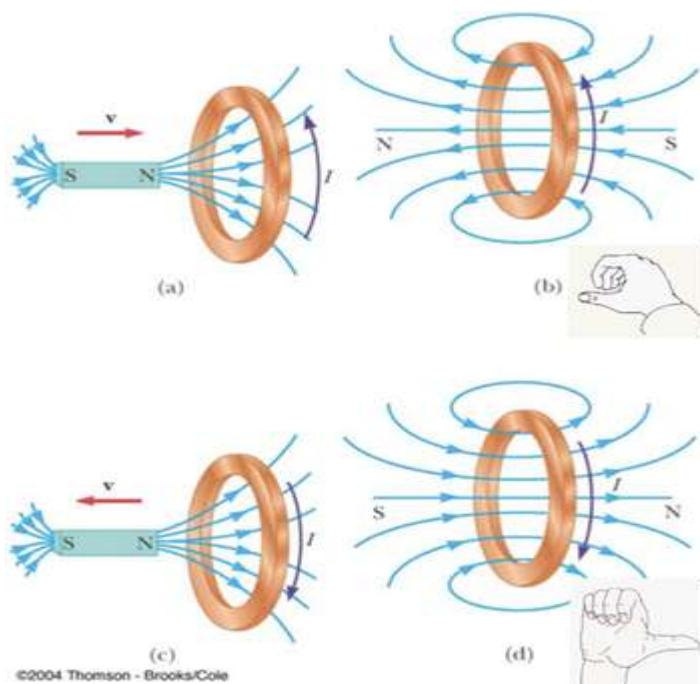


Figura 2: Demonstração da relação entre a corrente elétrica e a variação do fluxo magnético. Na imagem (a) o ímã está se aproximando da espira, que gera uma corrente induzida do sentido anti-horário, esta por vez gera um campo magnético contrário, imagem (b), dificultando a entrada do ímã. Uma vez que o ímã entrou na bobina e quer se afastar, como representado na imagem (c), a variação do fluxo magnético produz uma corrente induzida no sentido horário, gerando um campo magnético oposto ao do ímã, impedindo-o de sair, como mostra a imagem (d).

Fonte: Serway-2006

As equações 1 e 2 descritas abaixo, demonstram a relação entre o fluxo magnético e a força eletromotriz:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad 1$$

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad 2$$

1
$\varepsilon \Rightarrow$ Força Eletromotriz Induzida, unidade de medida é Volts (V); $d\Phi \Rightarrow$ Variação do fluxo, unidade de medida é Weber (Wb); $dt \Rightarrow$ Variação do tempo, unidade de medida é segundos (s);
2
$\Phi \Rightarrow$ Fluxo magnético, unidade de medida é Weber (Wb); $B \Rightarrow$ Campo magnético, unidade de medida é Tesla (T); $A \Rightarrow$ Área, unidade de medida é metros quadrados (m ²).

Ao fazer essas observações Lenz concluiu na Lei de Faraday foi que o sentido da corrente é o oposto da variação do campo magnético que lhe deu origem, por isso o sinal negativo na **Equação 1**. Já na equação **2** é demonstrado que o fluxo depende da área que o campo magnético está atravessando. Assim sendo, Lenz formulou uma lei que ficou conhecida como a Lei de Lenz e pode ser enunciada da seguinte forma:

A corrente induzida em um circuito aparece sempre com um sentido tal que o campo magnético que ela cria tende a contrariar à variação do fluxo magnético através da espira.

É bem sabido que quando um ímã é movimentado nas imediações de uma espira condutora a *Lei de Faraday* prediz a ocorrência de uma força eletromotriz induzida na espira. A força eletromotriz induzida é consequência da variação do fluxo magnético produzido pelo magneto que se aproxima ou se afasta da espira. A existência de uma força eletromotriz sobre um circuito condutor fechado (a espira) causa o aparecimento de uma corrente elétrica e, devido à resistência elétrica da espira, ocorre dissipação de energia, (SILVEIRA; LEVIN e RIZZATO, 2007).

***Você sabia:**
Podemos prever que o ímã sofrerá uma força magnética em oposição ao seu movimento de aproximação ou de afastamento da espira. Ou seja, quando um magneto é movimentado nas imediações de uma espira condutora, em consequência da corrente induzida, o ímã é freado!*

Esta força de frenagem no ímã é maior se a velocidade dele em relação à espira for maior, pois, de acordo com a *Lei de Faraday*, o valor da força eletromotriz induzida na espira depende da rapidez com a qual o fluxo magnético varia através da espira. Essa afirmação pode ser visualizada com mais

facilidade por meio do simulador que está representado na **Figura 3**, e pode ser encontrado facilmente no site do programa Phet da universidade do Colorado¹³.

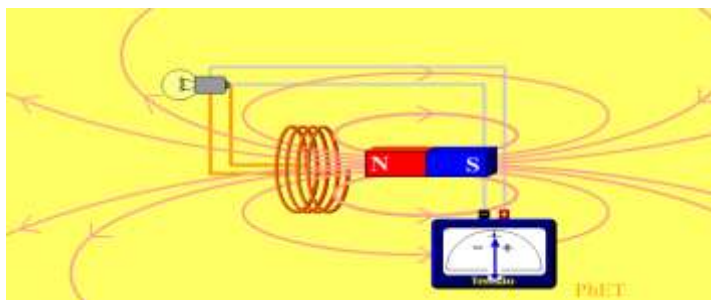


Figura 3: Simulador da Lei de Faraday

Por outro lado, quanto maior for a força eletromotriz, tanto maior será a corrente induzida. Conseqüentemente, como a força magnética de frenagem depende da corrente induzida, a força aumenta quando cresce a velocidade do ímã em relação à espira (este comportamento é análogo ao que acontece quando um objeto se move através de fluido viscoso). (SILVEIRA; LEVIN e RIZZATO, 2007). Neste sentido, a **Figura 4** representa um ímã se deslocando no interior de um tubo condutor. Podemos imaginar o tubo condutor como sendo constituído pela justaposição de muitas espiras condutoras das quais apenas duas estão indicadas na Figura.

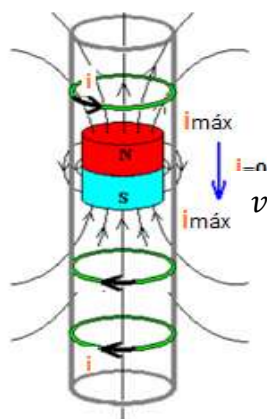


Figura 4: Demonstração da queda do ímã
Fonte: Adaptada de (SILVEIRA; LEVIN e RIZZATO, 2007).

Como o fluxo magnético através do tubo, que pode ser comparado como uma série de espiras empilhadas, está variando em decorrência do movimento de queda do ímã, surgem correntes induzidas ao longo da circunferência do tubo, que por sua vez, geram forças magnéticas que oferecem resistência à queda do ímã. Conforme aumenta a velocidade de queda do ímã, cresce também a força magnética obtida a partir da

¹³ Figura obtida a partir de um simulador encontrado no site: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faradays-law

interação do campo magnético gerado pelas correntes induzidas no cano e o campo magnético do ímã. Logo após o início da queda do ímã, é atingida a velocidade terminal, a partir da qual o movimento vertical apresenta velocidade constante, ou seja, a força magnética apresenta a mesma intensidade da força gravitacional (força peso) exercida sobre o ímã. Neste caso toda a potência desenvolvida pelo trabalho da força peso será igual ao módulo da potência associada às correntes induzidas no cano. Neste caso, **Figura 5** o magneto que cai com velocidade constante, converte energia potencial gravitacional integralmente em calor devido ao efeito Joule relacionado com as correntes induzidas no tubo¹⁴.

$$P_{potência} = \frac{mgy'}{\Delta t}$$

$$v_y = \frac{y'}{\Delta t'}$$

$$P_{potência} = mgv_y \quad 3$$

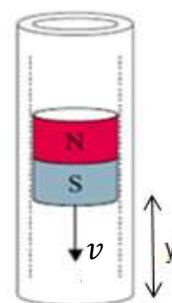
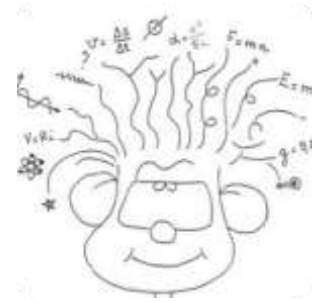


Figura 5: Demonstração da Potência da variação do fluxo.
Fonte: adaptado de <http://www.blogdovestibular.com>

¹⁴ Texto modificado do artigo ‘A frenagem eletromagnética de um ímã que cai’ publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 24, n.3: p. 295-318, dez. 2007, autores: Silveira, F. L; Levin, Y; Rizzato, F. B; todos do Instituto de Física – UFRGS.

1.3 ATIVIDADE PRÁTICA I



Materiais Utilizados

- 1 metro de tubo (25mm) de material isolante, tipo PVC;
- 1 metro de tubo (25mm) de material condutor não-ferromagnético, como o Cobre;
- 1 ímã (20mm) de neodímio;
- 1 cronometro

Procedimento:

Segure o tubo de PVC na posição vertical, coloque o ímã na parte superior e solte-o acionando o cronômetro simultaneamente, permitindo com que caia em queda-livre. repita o procedimento no tubo de Cobre (Cu).

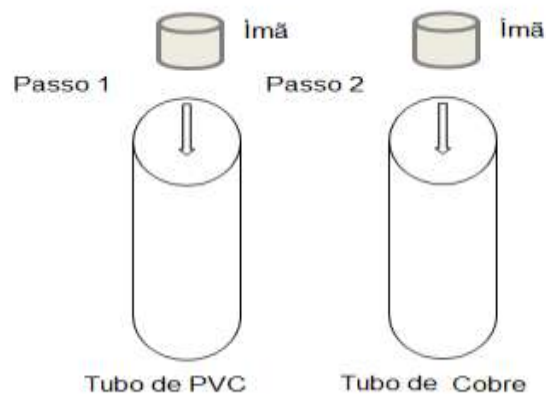


Figura 6: Procedimento do Experimento

Responda

1) O tempo de queda do ímã nos tubo de PVC e no tubo de Cobre foram iguais? Justifique:

2) O que acontece quando o ímã passa pelo tubo de PVC e no outro de cobre (Cu)?

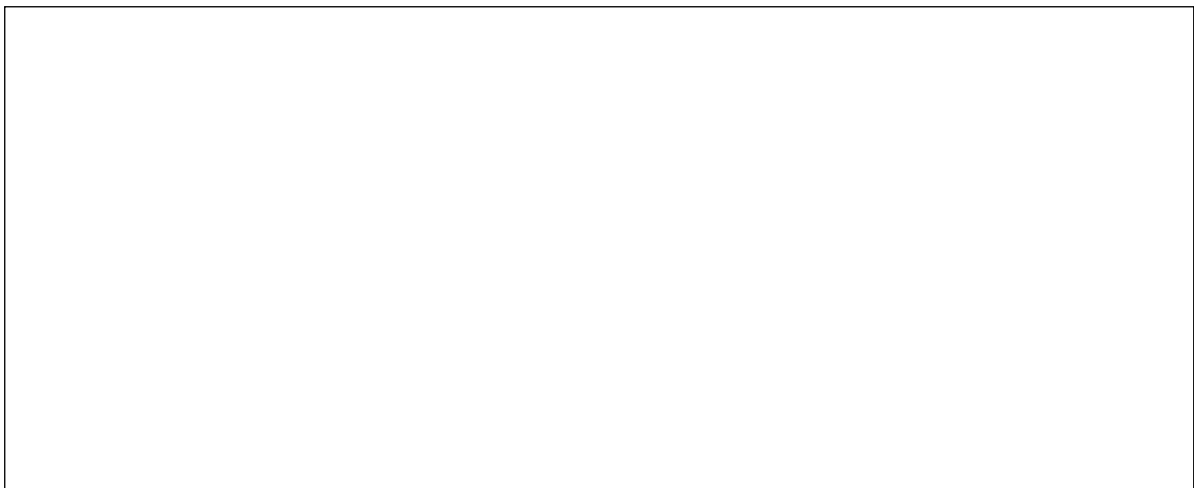
Justifique:

3) Esboce na sua concepção como as correntes induzidas se comportam em cada cano:



4) Um ímã desliza por dentro de um cano de cobre, de comprimento de 0,6 m, saindo do mesmo com velocidade $v_f = 0,2$ m/s. Determine qual o valor da Energia Térmica dissipada no cano do cobre? Considerando que toda a energia potencial inicial seja convertida integralmente em energia térmica e energia cinética final, determine a variação de temperatura do cano de cobre ao final da queda do ímã. Dados: A massa do ímã vale $m = 30$ g e do cano $M = 150$ g e que o calor específico do cobre vale $c = 388$ J/kg.°C,

$$E_i = E_f$$
$$mgh = \frac{1}{2}mv_f^2 + Q$$
$$Q = Mc\Delta T$$



O que esperamos ao final desta atividade?

Ao final desta atividade sobre Indução Eletromagnética, esperamos que o aluno seja capaz de compreender as propriedades de um ímã, de identificar a corrente elétrica por meio do fluxo magnético, de entender a interação da força magnética e de relacionar eletricidade com o magnetismo. Além disso, esperamos que sejam capazes de compreender que esta força magnética pode fazer um papel de frenagem por meio das correntes induzidas.

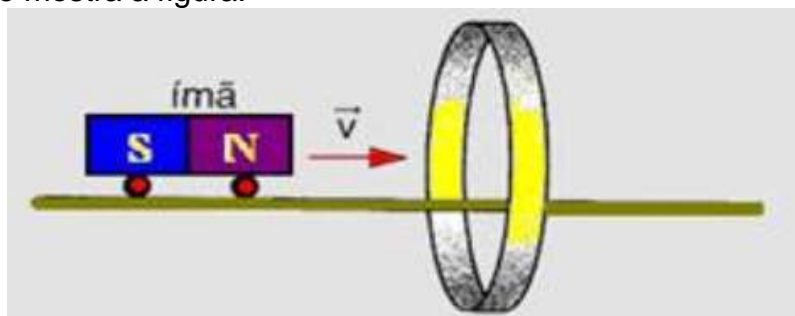
QUESTÕES PROPOSTAS

01-(FATEC-SP) Em qualquer tempo da história da Física, cientistas buscaram unificar algumas teorias e áreas de atuação. Hans Christian Oersted, físico dinamarquês, conseguiu prever a existência de ligação entre duas áreas da Física, ao formular a tese de que quando duas cargas elétricas estão em movimento, manifesta-se entre elas, além da força eletrostática, uma outra força, denominada força magnética.

Este feito levou a Física a uma nova área de conhecimento denominada:

- a) eletricidade.
- b) magnetostática.
- c) eletroeletrônica.
- d) eletromagnetismo.
- e) indução eletromagnética.

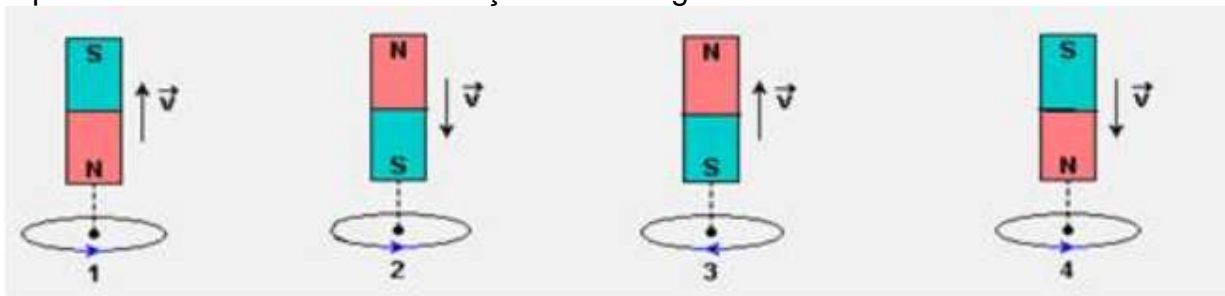
02- (FUVEST- SP) Um ímã preso a um carrinho desloca-se com velocidade constante ao longo de um trilho horizontal. Envolvendo o trilho há uma espira metálica, como mostra a figura.



Pode-se afirmar que, na espira, a corrente elétrica:

- a) é sempre nula;
- b) existe somente quando o ímã se aproxima da espira;
- c) existe somente quando o ímã está dentro da espira;
- d) existe somente quando o ímã se afasta da espira;
- e) existe quando o ímã se aproxima ou se afasta da espira.

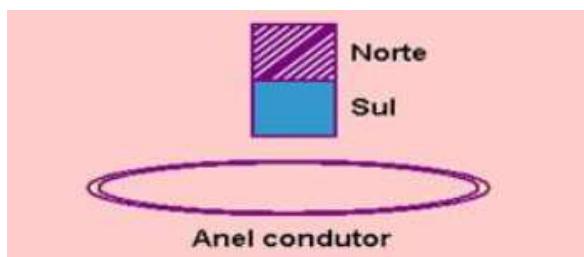
03-(CFT-MG) Um aluno desenhou as figuras 1, 2, 3 e 4, indicando a velocidade do ímã em relação ao anel de alumínio e o sentido da corrente nele induzida, para representar um fenômeno de indução eletromagnética.



A alternativa que representa uma situação fisicamente correta é

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4

04-(PUC-PR) Um ímã natural está próximo a um anel condutor, conforme a figura.



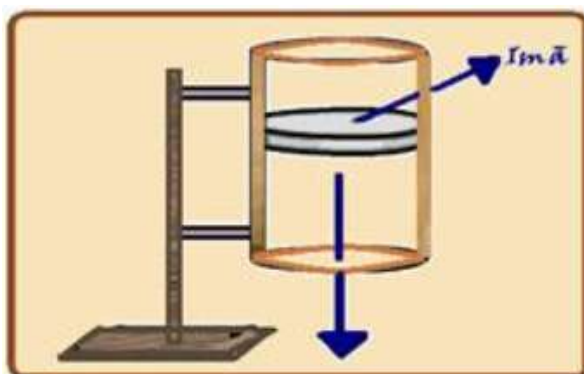
Considere as proposições:

- I. Se existir movimento relativo entre eles, haverá variação do fluxo magnético através do anel e corrente induzida.
- II. Se não houver movimento relativo entre eles, existirá fluxo magnético através do anel, mas não corrente induzida.
- III. O sentido da corrente induzida não depende da aproximação ou afastamento do ímã em relação ao anel.

Estão corretas:

- a) Todas
- b) Somente III
- c) Somente I e II
- d) Somente I e III
- e) Somente II e III

05-(UNEMAT-MT) A figura mostra um ímã caindo dentro de um tubo preso a um suporte.



De acordo com o experimento, assinale a alternativa correta.

- a. A velocidade do ímã aumenta se o tubo for de ferro.
- b. O ímã cai mais rapidamente se o tubo for de plástico, ao invés de alumínio.
- c. O tempo de queda do ímã é o mesmo se o tubo for de ferro ou alumínio.
- d. Enquanto o ímã cai no interior do tubo de plástico, há uma corrente induzida no tubo.
- e. O tempo de queda só depende do peso do ímã, independentemente se o tubo for de plástico ou de alumínio.

ATIVIDADE TEÓRICO-PRÁTICA II

2.GERADOR ELÉTRICO

2.1 Objetivo: Demonstrar qualitativamente que a força eletromotriz induzida numa bobina é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético nela e inversamente proporcional ao intervalo de tempo em que essa variação ocorre. Discutir de maneira prática como a Lei de Lenz é aplicada em diferentes situações. Relacionar o conceito de conservação de energia mecânica com o conteúdo de eletromagnetismo.



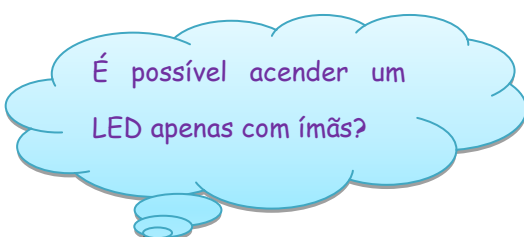
02 Horas Aula

2.2 Fundamentação teórica:

Para compreendermos Gerador Elétrico, temos que voltar um pouco para relembrar o que são correntes elétricas!

A corrente elétrica se estabelece em um condutor quando nele for aplicado um campo elétrico. Este campo elétrico atua sobre as cargas (elétrons) presentes nos materiais condutores. Os condutores, por sua vez, definem uma classe de materiais que possuem parte de seus elétrons fracamente ligados aos átomos, possibilitando com que baixos campos promovam o seu movimento, dando origem à corrente elétrica.

Desde que o professor dinamarquês de físico Hans Christian Oersted (1777 – 1851), em 1820, descobriu que uma corrente elétrica gera um campo magnético, a simetria das relações entre o magnetismo e a eletricidade levou Michael Faraday a acreditar na proposição inversa: se há uma corrente elétrica induzida na bobina, há também uma força eletromotriz induzida, pois sem energia os portadores de carga não se movimentam, (GASPAR, 2011).



A questão era saber como isso poderia ser feito, o que acabou sendo descoberto pelo próprio Faraday, em 1831, quando percebeu que o aparecimento da corrente elétrica em uma bobina ocorria devido uma variação do

campo magnético, que aparecia quando um ímã era aproximado ou afastado da mesma e desaparecia quando o movimento era cessado, conforme mostra a **Figura 7**.

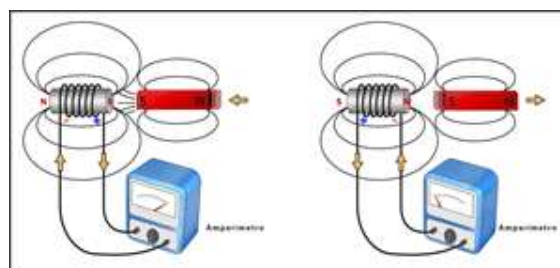


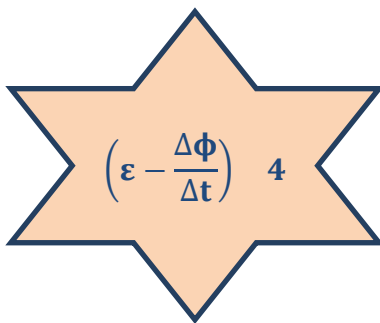
Figura 7: Esquema do experimento de Faraday

Fonte: <https://sites.google.com/site/fisica2palacios/magnetismo/induccion-electromagnetica>

Essa variação de campo magnético foi representada esquematicamente por meio de linhas de campo. A variação de número de linhas de campo magnético no interior de uma bobina gera o aparecimento de uma força eletromotriz induzida. Faraday fez ainda inúmeras experiências até formular a lei que hoje recebe seu nome.

Também chamada de lei da indução magnética, esta lei, elaborada a partir de contribuições de Michael Faraday, Franz Ernst Neumann e Heinrich Lenz entre 1831 e 1845, quantifica a indução eletromagnética.

A lei de Faraday-Neumann relaciona a força eletromotriz gerada entre os terminais de um condutor sujeito à variação de fluxo magnético em um intervalo de tempo, sendo expressa matematicamente por:


$$\left(\varepsilon - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \right) \quad 4$$

ε é a força elétrica induzida em volts (V)

$\Delta\phi$ é a variação do fluxo em weber (Wb)

Δt é a variação do tempo em segundos (s)

O sinal negativo da **Expressão 4** é uma consequência da Lei de Lenz, que diz que a corrente induzida tem um sentido que gera um fluxo induzido oposto ao fluxo gerador.

Deve-se observar, de passagem, que o nome força eletromotriz, dado a essa grandeza, é mantido por questões históricas. Essa grandeza não representa fisicamente uma força e sim, uma diferença de potencial elétrico.

De acordo com a Lei de Lenz, quando o ímã é aproximado ou afastado da espira, uma força magnética oferece resistência ao movimento e, portanto, é preciso realizar um trabalho positivo para executar o movimento. Ao mesmo tempo, uma energia térmica é produzida na espira por causa da passagem da corrente elétrica pelos fios da bobina, que apresentam uma pequena resistência elétrica.

A energia transferida ao ímã pela força aplicada acaba sendo transformada em energia térmica. Uma abordagem mais completa deste fenômeno deve também considerar a energia irradiada pelas espiras na forma de ondas eletromagnéticas durante a indução (usualmente essa energia é pequena e por isso pode ser desprezada). Quanto mais rápido o movimento do ímã, mais trabalho é realizado em

Você Sabia?
a corrente elétrica induzida (ε) num circuito gera um campo magnético (\vec{B}) (que se opõe à variação do fluxo magnético que induz essa corrente)

Qual a relação entre Indução e Energia?

um dado intervalo de tempo e maior será a potência convertida em energia elétrica pelo dispositivo. Essa energia elétrica poderá por sua vez ser convertida em outras formas de energia, como por exemplo, energia térmica e energia luminosa. A **Figura 8** ilustra a indução de correntes por meio de um ímã.

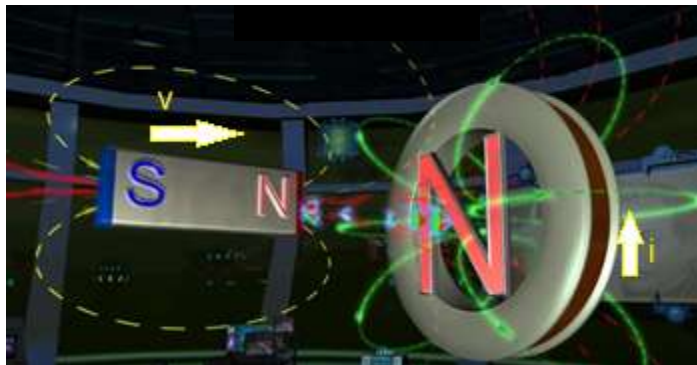


Figura 8: Esquema da Lei de Lenz, no momento em que o ímã se aproxima da bobina.
Fonte: (<https://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc>).

Qualquer que seja a forma como a corrente é induzida, parte da energia sempre é transformada em energia térmica durante o processo (a menos que a espira seja supercondutora) por causa da resistência elétrica do material de que é feita a bobina (MOURA, 2011).

O movimento do ímã induz na espira forças eletromotrizes que geram correntes elétricas. Essas correntes induzidas geram campos magnéticos que se opõem ao campo do ímã. A **Figura 9** apresenta o perfil do campo magnético gerado por correntes que percorrem condutores com diferentes formatos.

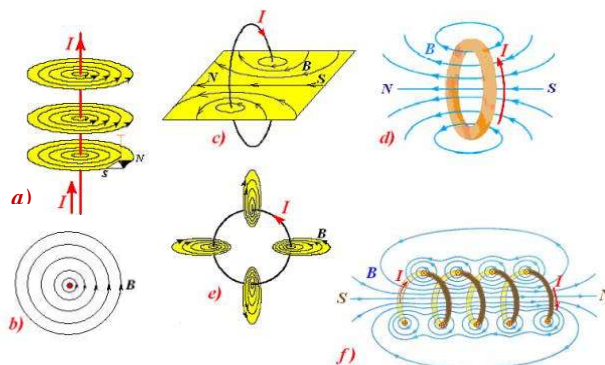


Figura 9: Demonstração do sentido do campo magnético gerado pela passagem da corrente elétrica em um condutor.

Fonte: http://www.barrascarpetta.org/01_ele/m_1/m1_u0.htm

Para exemplificar o sentido do campo magnético gerado por uma corrente elétrica, torna-se conveniente o uso da regra da mão direita. Por exemplo, considerando um fio condutor retilíneo, alinhando o polegar no sentido da corrente elétrica, os demais dedos da mão direita indicarão o sentido do campo magnético, conforme representado na **Figura 10**. Também podemos utilizar a regra da mão direita

invertendo o seu “ajuste”, como por exemplo, quando tratamos o campo magnético gerado no interior de uma espira. Neste caso, alinhando os dedos no sentido da corrente elétrica, o polegar da mão direita indicará o sentido do campo magnético¹⁵.

Conheça a Regra da Mão Direita:

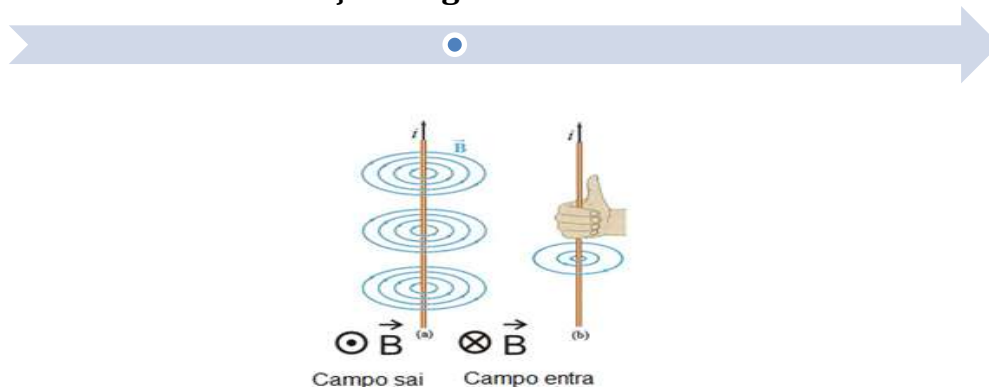


Figura 10: O condutor retilíneo percorrido por uma corrente de intensidade i gera um campo magnético circular com centro próprio condutor, cujo vetor campo magnético \vec{B} tem direção e sentido dados pela regra da mão direita

Modificado da Fonte: <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica>

Relacionando a Regra da mão direita com a Lei de Faraday, entendemos que o sentido da corrente em um condutor deve ser tal que gere um fluxo magnético oposto à variação que a criou

Você sabe o que é
fluxo magnético?

O fluxo magnético, também denotado como fluxo do campo magnético, está relacionado ao número de linhas de campo magnético que atravessam determinada superfície de área (A). Como mostra a **Figura 11**.

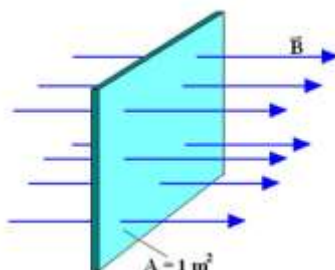


Figura 11: Linhas de campo magnético atravessando uma superfície plana.

Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/fluxo-magnetico.htm>

¹⁵ De uma maneira geral, o vetor campo magnético sempre poderá ser obtido por meio da Lei de Biot-Savart.

Desta forma, podemos dizer que o número de linhas de campo que atravessam uma superfície plana, de área **A**, colocada perpendicularmente a um campo magnético, é proporcional ao produto do campo magnético pela área da superfície, (**B** . **A**). Esse produto recebeu o nome de fluxo de **B** (ou fluxo magnético), Equação 5, através da superfície, sendo representado por ϕ , (SILVA). Assim, temos:

$$\phi = B \cdot A \quad (5)$$

Onde:

ϕ – fluxo magnético (Wb=T.m²)

B – campo magnético (T)

A – área da superfície plana (m²)

De acordo com a equação abaixo temos uma espira de área **A** imersa em um campo magnético uniforme. O ângulo formado entre o campo **B** e o vetor **n** normal ao plano da espira é θ . Assim, para calcular o fluxo magnético **B** através da espira temos que levar em consideração o ângulo, como representado na **Equação 6**. Portanto, temos que:

$$\phi = B \cdot A \cos\theta \quad (6)$$

No S.I. (Sistema Internacional de Unidades) a unidade de fluxo denomina-se weber (Wb).

Neste sentido, o experimento descrito a seguir visa contextualizar as ideias sobre a indução eletromagnética, relacionando o surgimento da corrente elétrica em uma bobina mediante a variação de fluxo magnético gerado por um ímã.

2.3 ATIVIDADE PRÁTICA II



Materiais Utilizados

- Tubo aquatherm 28 mm;
- Fio de cobre (fino ~ AWG 28);
- Um ímã de neodímio de 22mm;
- Fita crepe ou isolante;
- LED (3 V).





Procedimento:

- 1) Pegue o tubo, separe 2cm do seu centro e passe cinco voltas de fita isolante em cada extremidade, formando uma “barreira”;
- 2) Enrole o fio de cobre entre as “barreiras” de modo organizado para formar a bobina (fazer em média 100 espiras), deixando de sobra as extremidades do fio, aproximadamente 10cm, fixe-o na bobina com a fita isolante deixando as pontas soltas;
- 3) Lixe as pontas extremidades do fio e conecte o LED, logo após fixe-o na parte superior do tubo de maneira que o sistema possa suportar a agitação;
- 4) Agora coloque o ímã dentro do tubo e agite-o, de forma que atravesse a bobina completamente.



Imagem 1: Esquema do gerador Elétrico

Discussão:

1) Por que o LED acende?

2) A intensidade da luz depende da velocidade com que os ímãs passam pela bobina?

3) A partir desse experimento, explique a equação de Faraday ($\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$), representando o ímã, a bobina, as linhas de campo a velocidade do ímã e a direção da corrente elétrica na bobina. Pode esquematizar.

4) O LED acende em qualquer posição que o ímã possua no interior do cano? Justifique:

O que esperamos ao final desta atividade?

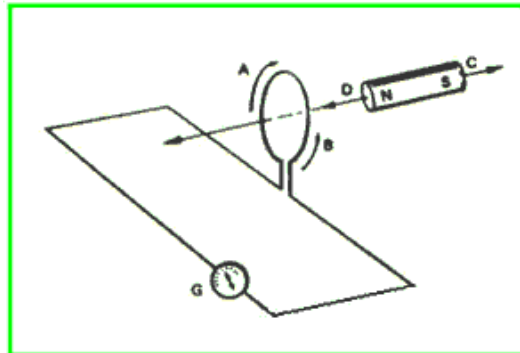
Ao final desta atividade sobre Gerador Elétrico, esperamos que o aluno seja capaz de compreender que força eletromotriz induzida numa espira (bobina), é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético que atravessa e inversamente proporcional ao intervalo de tempo em que essa variação ocorre. Entender que a ciência está no seu alcance, despertando a motivação para o conhecimento científico. Também esperamos que o aluno possa fazer relações entre o conhecimento de senso comum e o conhecimento científico, por meio da abordagem qualitativa proposta ao longo dessa atividade teórica-experimental.

QUESTIONÁRIO PROPOSTO

- 1)** (UFMG) A corrente elétrica induzida em uma espira circular será:
- a) nula, quando o fluxo magnético que atravessa a espira for constante.
 - b) inversamente proporcional à variação do fluxo magnético com o tempo.
 - c) no mesmo sentido da variação do fluxo magnético.
 - d) tanto maior quanto maior for a resistência da espira.
 - e) sempre a mesma, qualquer que seja a resistência da espira.
- 2)** (Fund. Carlos Chagas-SP) Uma espira circular é percorrida por uma corrente elétrica contínua, de intensidade constante. Quais são as características do vetor campo magnético no centro da espira? Ele:
- a) é constante e perpendicular ao plano da espira
 - b) é constante e paralelo ao plano da espira
 - c) é nulo no centro da espira

- d) é variável e perpendicular ao plano da espira
- e) é variável e paralelo ao plano da espira

3) A figura representa uma espira circular de raio r , ligada a um galvanômetro G com "zero" central. O ímã F pode mover-se nos sentidos C ou D.



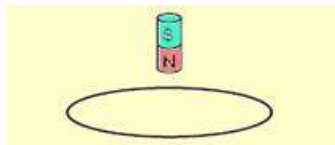
Considere as afirmativas:

- I. Se o ímã se aproximar da espira, aparecerá na mesma uma corrente com o sentido A.
- II. Se o ímã se afastar da espira, aparecerá na mesma uma corrente com o sentido A.
- III. Se os pólos do ímã forem invertidos e o mesmo se aproximar da espira, aparecerá na mesma uma corrente com sentido B.

Assinale:

- a) Só a afirmativa I é correta.
- b) Só a afirmativa II é correta.
- c) São corretas as afirmativas I e III
- d) São corretas as afirmativas II e III
- e) n.d.a

4) (UFV-MG)- A figura abaixo ilustra um ímã cilíndrico que é abandonado acima de uma espira condutora situada num plano horizontal, no campo gravitacional da Terra. Após abandonado, o ímã cai verticalmente passando pelo centro da espira.

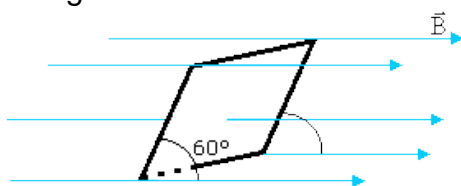


Desprezando-se a resistência do ar, é CORRETO afirmar que as forças que a bobina exerce no ímã quando este está se aproximando e, depois, se afastando da mesma são, respectivamente:

- a) vertical para baixo e vertical para baixo.
- b) vertical para cima e vertical para baixo.
- c) vertical para cima e vertical para cima.
- d) vertical para baixo e nula.
- e) nula e vertical para cima.

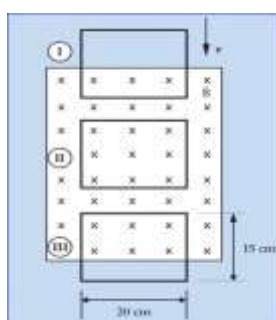
5) Uma espira retangular, com 15cm de largura, por 20cm de comprimento encontra-se imersa em um campo de indução magnética uniforme e constante,

de módulo 10T. As linhas de indução formam um ângulo de 30° com o plano da espira, conforme mostra a figura:



Qual é o valor do fluxo de indução magnética que passa pela espira?

6) Uma espira constituída por um fio condutor retangular é empurrada perpendicularmente às linhas de indução magnética de um campo magnético uniforme perpendicular à folha, até sair pelo outro lado, como mostra a figura. Determine o sentido da corrente induzida na espira em cada uma das representações I, II e III.



ATIVIDADE TEÓRICO-PRÁTICA III

3. FREIO MAGNÉTICO II

3.1 Objetivo: Esta atividade propõe a observação do fenômeno físico muito importante, as correntes de Foucault, que surgem em qualquer material condutor exposto a um fluxo variável de campo magnético. Ao longo da atividade prática, iremos discutir os diversos efeitos causados por esta variação de fluxo magnético, que agirá sobre discos de alumínio com diferentes formatos. Ao final, esperamos que os alunos sejam capazes de relacionar o conceito de conservação de energia mecânica com o conteúdo de eletromagnetismo, assim como compreender que é possível gerar força magnética entre um material paramagnético (alumínio) e um ímã.



01 Hora Aula

3.2 Fundamentação teórica:

Antes de iniciarmos nossa atividade teórico-prática, vamos entender melhor a teoria que embasa o fenômeno das correntes de Foucault também conhecida como correntes parasitas.

Para entender o que são as **Correntes de Foucault**, é necessário lembrar-se de três fatos muito importantes na História

O francês Jean Bernard Léon Foucault (1819 - 1868), Figura 12, desde jovem manifestou vivo interesse pela Física experimental, abandonando a prática da medicina logo após a conclusão do curso.

Em 1850, Foucault determinou experimentalmente a velocidade da luz. Em 1852, inventou o giroscópio. Deve-se a ele a descoberta das correntes de indução nos metais em função da variação do fluxo magnético, posteriormente chamadas de *Correntes de Foucault*.

do Eletromagnetismo. Os três fatos ocorreram no século XIX. No primeiro,

o professor dinamarquês Hans Christian Oersted

conseguiu comprovar, a

partir dos seus experimentos, que quando uma corrente elétrica passava ao longo de um fio aparecia um campo magnético em seu entorno. Quase que imediatamente, o físico francês André Marie Ampère, verificou a interação entre a corrente e um ímã, e por último, Michael Faraday esclarece que a força eletromotriz induzida numa bobina é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético nela e inversamente



Figura 12: Imagem de Jean Bernard Léon Foucault

proporcional ao intervalo de tempo em que essa variação ocorre, (PAULA).

A partir destas descobertas, por volta de 1855 Jean Bernard Leon Foucault observou que quando um disco de cobre era colocado entre os pólos de um magneto era preciso mais força para fazê-lo girar do que quando não havia o magneto. Esse fato ocorre devido ao surgimento de correntes parasitas no interior do metal produzidas pela variação do fluxo magnético em decorrência do movimento do disco, representado na **Figura 13**, (SILVA, Paula).

Essa variação de fluxo magnético induz uma f.e.m. (força eletromotriz) no corpo, que determina, por sua vez, o aparecimento de uma corrente elétrica no volume do disco submetido à essa variação. Essa corrente induzida gera um novo campo magnético que se opõe ao campo magnético indutor (lei de Lenz).

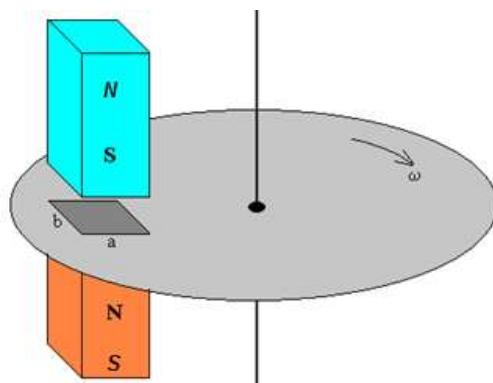


Figura 13: Esquema de um disco paramagnético (alumínio) girando entre os pólos dos magnetos.

Fonte: <http://www.estudopratico.com.br/corrente-de-foucault-historico-e-o-que-ocorre-nela/>

Até o momento, analisamos casos nos quais as correntes elétricas induzidas em um circuito fixo, por exemplo, em uma espira, quando exposto a um fluxo magnético variável. O que Foucault verificou e que essa variação de fluxo pode ser também gerada em uma superfície condutora exposta a um campo magnético constante, desde que exista movimento entre a superfície e a fonte de campo. Partindo do experimento de Foucault, ao girar o disco áreas que não estavam expostas ao campo magnético passarão a estar expostas. Em consequência, surgirão corrente induzidas - as correntes de Foucault - nessas áreas que terão sentido dado pela Lei de Lenz. A **Figura 14** que segue abaixo, apresenta mais detalhadamente as relações existentes entre o campo, a corrente e a força magnética no experimento de Foucault.

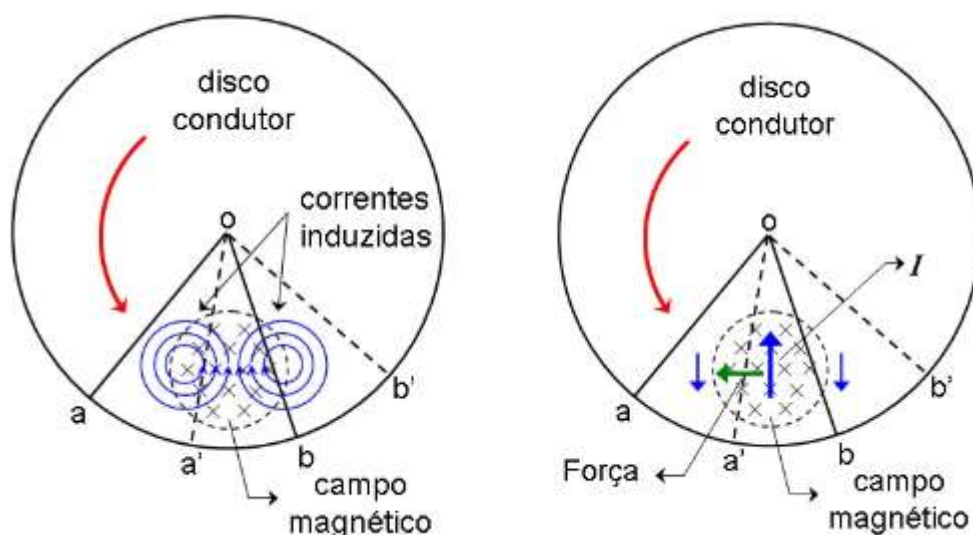


Figura 14: Esquema simplificado ilustrando o surgimento de uma força contrária ao movimento do disco devido à presença de correntes de Foucault.

Fonte: Souza, R. D (2005)

Uma das consequências do aparecimento das correntes de Foucault é a dissipação de energia por efeito Joule, causando um grande aumento de temperatura. O aumento da temperatura, por exemplo, permite que estas correntes sejam utilizadas como fonte de calor em um forno ou fogão de indução.

No entanto, em alguns casos (como nos circuitos eletrônicos), a dissipação por efeito Joule é um resultado bastante indesejável, porque pode danificar os seus componentes. Para diminuir ou evitar a dissipação por efeito Joule, utiliza-se frequentemente materiais laminados, formados por associações de placas isoladas entre si.

Abaixo apresentamos um equacionamento que auxilia a sistematizar a compreensão dos efeitos relacionados às correntes de Foucault induzidas no disco. Sempre que existe uma variação de fluxo magnético em uma região do disco, surge também uma força eletromotriz induzida, conforme descreve a lei de Faraday, lembrando a **Equação 4**:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

onde $\Delta\phi$ é a variação de fluxo magnético [Wb] e Δt é o intervalo de tempo [s]. Considerando constante o campo em uma dada região do imã (\vec{A}'), poderíamos calcular o fluxo magnético nessa área como sendo o produto do campo pela área na qual está submetido.

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A}'$$

Essa força eletromotriz está relacionada com a corrente elétrica por meio da 1ª Lei de Ohm, dada por:

$$\varepsilon = Ri \quad (7)$$

, onde R é a resistência medida em ohms [Ω] e i é a corrente elétrica medida em amperes [A]. Sendo assim, em decorrência da existência de uma corrente elétrica em uma região onde existe campo, é gerada uma força, também conhecida como força de Lorentz, dada pela **Equação 8**:

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$$

$$|\vec{F}| = ilB\sin\theta \quad (8)$$

Onde F é a força em newtons [N], i é a corrente, L [m] é o comprimento do fio ou da região percorrida pela corrente que sente a influência do campo magnético, B é o campo magnético e θ define o ângulo entre a corrente e o campo magnético. Esta força é sempre oposta ao movimento e por esse motivo, pode ser feita uma analogia entre ela e a força de atrito. Além do mais, assim como a força de atrito, a força de Lorentz é uma força dissipativa, ou seja, o trabalho relacionado a essa força reduz a

energia mecânica do sistema, sendo convertido integralmente em calor, causando o aquecimento do disco. Analisando a **Figura 15**, podemos entender melhor como é obtido o sentido da força magnética usando a regra da mão direita, que neste caso está relacionada com o sentido da corrente e do campo magnético¹⁶. Inicialmente, posicionamos a palma da mão direita na direção do primeiro vetor que compõe a sentença, neste caso, o segmento de fio que orientado na direção da corrente elétrica. Em seguida, a palma da mão direita deve ser rotacionada por um ângulo menor que 180 graus até atingir o segundo vetor da sentença, neste caso o campo magnético. Ao terminar essa rotação o polegar indicará a direção e o sentido da força magnética.

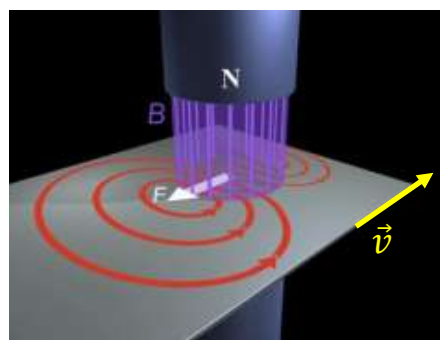


Figura 15: Representação da Regra da mão Direita, aplicada à corrente elétrica e ao Campo Magnético.

Fonte: Halliday (7ª Edição)

Retomando o experimento realizado por Foucault, podemos associar à força magnética que atua no disco o trabalho, que por sua vez, pode ser relacionado com a potência dissipada, dessa forma, a potência (**P**) dissipada pela passagem da corrente elétrica em um fio (**i**), está relacionada com a resistência elétrica (**R**) conforme as Equações (9) e (10), descritas logo abaixo:

$$P = Ri^2 \quad (9)$$

$$P = \frac{\epsilon^2}{R} \quad (10)$$

Uma vez que essa potência dissipada pode ser diretamente proporcional a força eletromotriz (**ϵ**) e inversamente proporcional à resistência do material **R**. Lembrando que a unidade de medida da potência é o trabalho realizado inverso ao tempo (**J/s**), mais conhecida como Watts (**W**).

Analisando o movimento do disco, que gira com parte de sua área exposta a um campo magnético de um ímã aplicado de maneira perpendicular ao plano do disco, podemos definir uma potência relacionada ao trabalho produzido pela força de Lorentz [Watt = J/s] proveniente da interação da corrente induzida com o campo magnético

¹⁶ A regra da mão direita sempre pode ser usada para obter a direção de um vetor calculado a partir de um produto vetorial.

- Parafusos
- Dois 8 por 20
- Dois 8 por 15
- Cinco porcas
- Uma com rosca de 5mm
- Quatro de rosca de 6mm
- Um suporte de madeira
- Um rolamento pequeno
- Barbante
- Pesos de (100g, 150g)
- Massa epoxi (tipo durepox)



PROCEDIMENTO

- 1) Acople o rolamento no suporte de madeira e encaixe no seu interior um eixo o qual fixará o disco, certifique-se que os discos girem facilmente no rolamento e possa ser trocado;
- 2) Na outra extremidade do eixo, fixe o barbante, deixando livre um metro de comprimento, na sua ponta amarre um peso de 100g;
- 3) Solde em dois parafusos (6 por 20mm) uma porca de rosca de 8mm para passagem de outro parafuso onde será colado os ímãs,



depois de soldado fixe um parafuso na frente do disco e outro atrás, na mesma linha, de maneira que o ímã possa ter sua face completa na área do disco;

- 4) Os ímãs devem ser fixados com pólos invertidos (de atração) com a massa epoxi, um no parafuso de (8 por 15mm) e outro no de (8 por 20mm), deixe secar por duas horas.

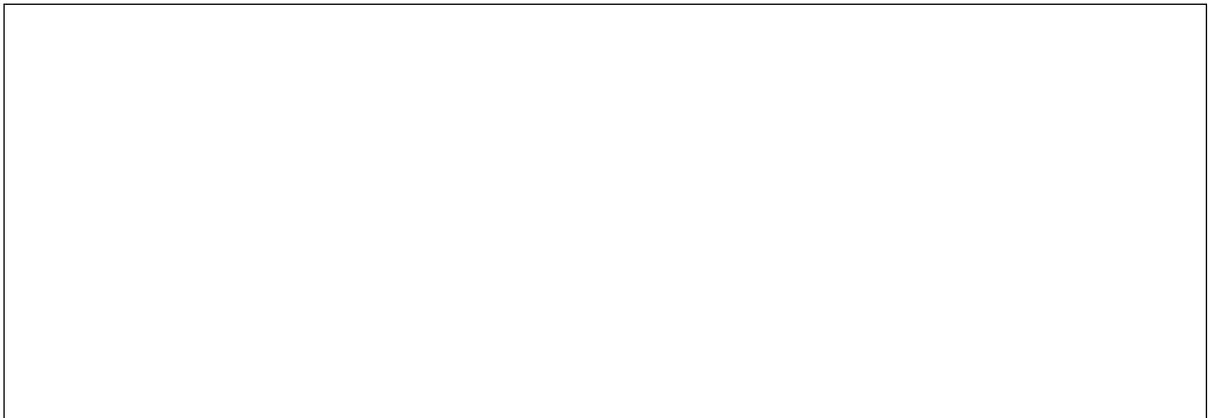
DISCUSSÃO:

- 1) Sem a presença dos ímãs, coloque o disco de alumínio maciço no eixo e cronometre o tempo de três descidas do peso sem os ímãs, anotando o valor médio. Repita este procedimento nos outros discos. Houve diferenças de medida? Justifique.

sem ímã? Justifique.

- 3) Analisando a movimento dos diferentes discos com o ímã acoplado no sistema, justifique a diferença nos tempos de descida entre os diferentes discos?

- 4) Defina as correntes parasita, ou correntes de Foucault nos diferentes discos de maneira esquemática:



O que esperamos ao final desta atividade?

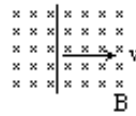
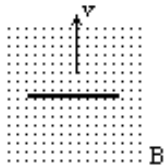
Ao final desta atividade do Freio Magnético II, esperamos que os alunos compreendam o real efeito da variação do fluxo magnético em induzir uma corrente elétrica nos materiais paramagnéticos, como o disco de alumínio. Esperamos também que os alunos saibam relacionar este efeito com o aparecimento da força de Lorentz, que gera dissipação da energia mecânica do sistema. Transpor esse aprendizado com o seu dia a dia, como o funcionamento de fornos e fogões por indução eletromagnética.

QUESTÕES PROPOSTAS

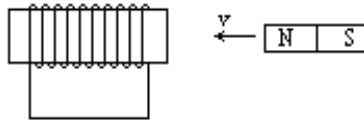
- 1) Com base na Lei de Lenz, determine a polaridade da força eletromotriz gerada nos condutores abaixo:

a)

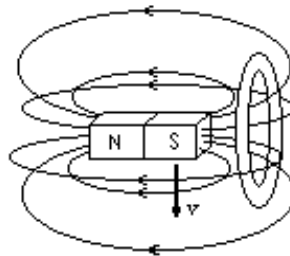
b)



- 2) Determine qual o sentido da corrente e a polaridade da força eletromotriz induzida na bobina abaixo, quando o ímã estiver se aproximando da mesma..

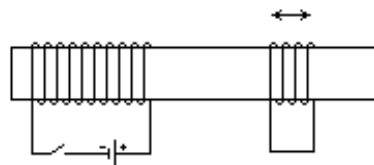


- 3) Qual o sentido da corrente induzida no anel condutor abaixo?

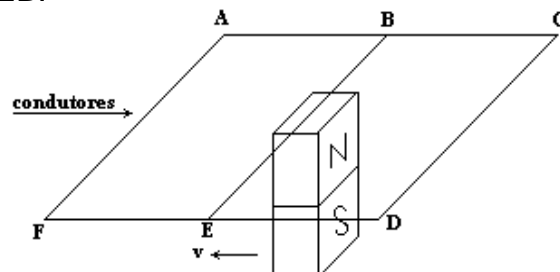


- 4) No esquema abaixo, a bobina em curto pode deslizar livremente pelo núcleo. Determine o sentido do deslocamento a que estará sujeita esta bobina quando o interruptor estiver sendo:

- a) ligado
b) desligado

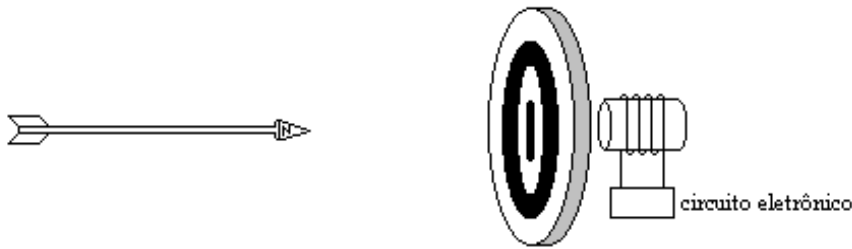


- 5) Na ilustração abaixo o ímã está passando por baixo de uma armação de condutores. Determine o sentido das correntes nos dois percursos fechados ABEFA e BCDEB.



- 6) Um dardo magnetizado é lançado sobre um alvo. Por trás da marca da mosca está instalada uma bobina cujos terminais estão conectados a um

circuito eletrônico para avisar quando o dardo atingir a mosca. Determine o sentido da corrente induzida na bobina caso o dardo acerte a mosca.



- 7) Como surgem as correntes parasitas ?
- 8) Por que as correntes parasitas circulam na periferia dos núcleos ?
- 9) Qual o principal efeito das correntes parasitas em um núcleo ?
- 10) Quais as maneiras de se diminuir o efeito das correntes de Foucault ?
- 11) Por que as chapas de um núcleo devem ser isoladas entre si ?
- 12) Cite três aplicações das correntes de Foucault ?

ATIVIDADE TEÓRICO-PRÁTICA IV

4. O TRANSFORMADOR ELÉTRICO DESMONTÁVEL

4.1 Objetivo: Esta atividade permite ao aluno estudar experimentalmente transformadores, por meio de demonstração prática. Relacionar a indução de correntes em bobinas, Também é discutido o acoplamento magnético entre as bobinas, visando explicitar as relações existentes entre a variação de tensão, a força eletromotriz e a Lei de Faraday.



01 Hora Aula

4.2 Fundamentação teórica:

O que é um transformador?

O transformador é um dispositivo elétrico que permite modificar a amplitude de tensões e correntes. Consiste basicamente de duas bobinas isoladas eletricamente, porém

acopladas magneticamente, pois são montadas em torno de um mesmo núcleo de ferro ou ferrite, (BARRETO; CASTRO JUNIOR; MURARI, SATO 2012).

Instalações elétricas, de um modo geral, podem necessitar que a tensão fornecida pelas companhias de energia elétrica aumente ou diminua. Nestes casos, é necessária a utilização de um dispositivo auxiliar - o transformador elétrico - que permita fazer o ajuste necessário na tensão. Por exemplo, imagine que você compra um furadeira e descobre que ela é fabricada para funcionar com uma tensão de 220V, no entanto, em sua casa só existem tomadas com tensão de 110 V. O que fazer nesse caso? A forma mais fácil de usá-la, sem que ele seja danificada, é utilizar um transformador, que neste caso, aumentará a tensão da tomada passando de 110 V para 220 V, permitindo o uso da furadeira na tensão especificada pelo fabricante.

De funcionamento bem simples, o transformador é um dispositivo que opera com corrente alternada, baseado nos princípios eletromagnéticos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz. O transformador de tensão é constituído por uma peça de ferro, denominada de núcleo do transformador, ao redor do qual são enroladas duas bobinas ou mais bobinas. Em uma dessas bobinas é aplicada a tensão primária (U_p) que se deseja transformar, ou seja, aumentar ou diminuir. Essa bobina é chamada de bobina primária ou enrolamento primário e possui um número específico de espiras (N_p). Nos terminais da outra bobina - a bobina secundária - que conta com um número diferente de espiras (N_s), a tensão é transformada passando a apresentar um valor diferente - tensão secundária (U_s) - que pode ser maior ou menor que U_p , dependendo da relação entre o número de espiras N_p e N_s .

A **Figura 16** ilustra um transformador que funciona do seguinte modo: ao aplicar uma tensão alternada no enrolamento primário surgirá uma corrente (i_p), também alternada, que percorrerá todo o enrolamento. Através dessa corrente é gerado um fluxo magnético no núcleo de ferro, que varia com o tempo, pois a corrente é alternada¹⁷. Esse fluxo magnético se propaga através do núcleo passando pela bobina secundária, onde induz uma força eletromotriz (tensão) e por consequência uma corrente (i_s) diferente daquelas verificadas no enrolamento primário, que dependerão da relação entre N_p e N_s .

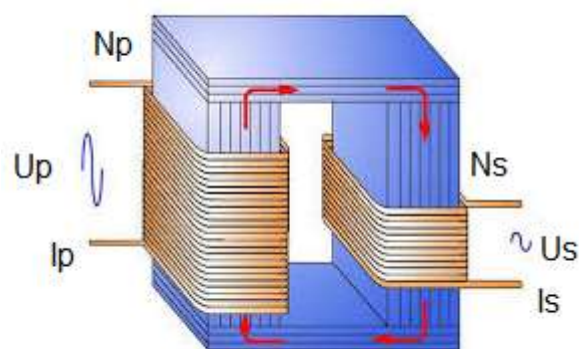


Figura 16: Esquema de um transformador

Fonte: <http://teslablog.iaa.es>

¹⁷ No Brasil, a tensão e as correntes distribuídas pelas concessionárias é alternada e possui frequência de 60 Hz, ou seja, completa 60 ciclos de oscilação a cada segundo.

Qual a relação das correntes de Foucault com o transformador?

Em um transformador ideal, os efeitos relacionados às perdas de energia são desprezados, e sendo assim, a mesma potência que é fornecida ao enrolamento primário, também é drenada no enrolamento secundário. No entanto, em um transformador real existem perdas de energia. Podemos atribuir essas perdas de energia majoritariamente à três motivos; à resistência dos fios dos enrolamentos, às correntes de Foucault que percorrem o núcleo e à energia associada à histerese de magnetização do núcleo.

Embora fios de cobre - geralmente usados nos enrolamentos dos transformadores - apresentem baixa resistência elétrica, essa resistência passa a não ser mais desprezível quando consideramos que as bobinas geralmente possuem um número bem elevado de voltas. Dessa forma, a potência (**P**) dissipada pela passagem da corrente elétrica em um fio (**i**), está relacionada com a resistência elétrica (**R**) conforme a **Equação 9** abaixo:

$$P = Ri^2 \quad (9)$$

É importante notar que toda a energia associada à essa potência passará a dissipada na forma de calor em decorrência do efeito Joule.

Como o núcleo do transformador é feito a partir de um metal, é natural que nesse metal também surja correntes de Foucault, representado na **Figura 17**, em decorrência do fluxo magnético induzido pela bobina primária. Essas correntes também auxiliam a diminuir a eficiência do transformador, aumentando o calor gerado durante seu funcionamento. No entanto,

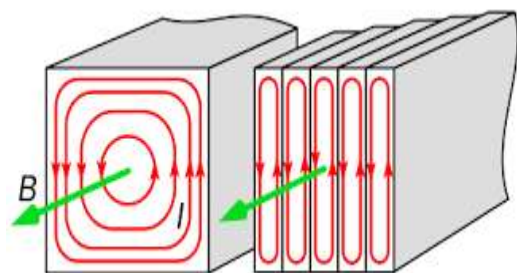


Figura 17: Representação da correntes de Foucault

visando diminuir as perdas de energia pelas correntes de Foucault, medidas como produzir núcleos compostos por várias laminas de ferro isoladas entre si são adotadas na fabricação dos transformadores comerciais. Esses núcleos laminados restringem o caminho das correntes de Foucault, minimizando a dissipação de energia, conforme a figura acima.

Por fim, o terceiro fator que acarreta perdas de energia está intimamente ligado à natureza do material magnética do qual o núcleo é feito. É importante lembrar que para conduzir as linhas de campo geradas em uma bobina para a outra, necessitamos de materiais onde os momentos magnéticos possam se alinhar com o campo gerado pela bobina. Os momentos magnéticos, mostrados na **Figura 18**, podem ser compreendidos em primeira aproximação como pequenos ímãs associados a cada átomo de material. Nos materiais ditos ferromagnéticos esses momentos

magnéticos se alinham como o campo magnético de modo a reforçar o campo no interior do material. Porém como o fluxo magnético no núcleo, gerado na bobina primária, é alternado, ou seja, varia com o tempo, é natural pensar que ora os momentos magnéticos estão orientados majoritariamente num sentido, ora no sentido oposto. Sendo assim, para variar a orientação dos momentos magnéticos de um material, também é necessária uma energia, que também é dissipada na forma de calor, contribuindo com o aquecimento do transformador durante seu funcionamento.

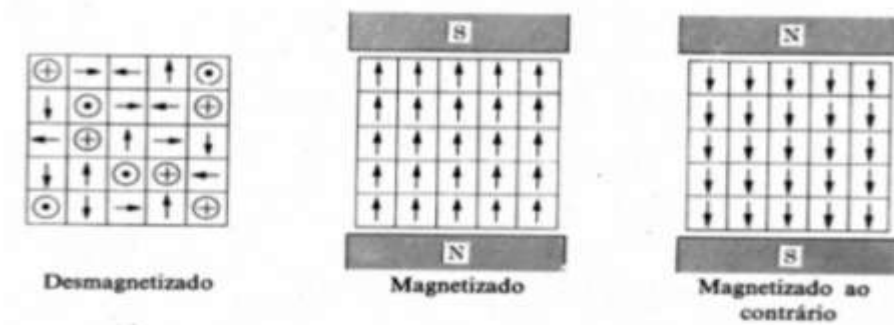


Figura 17: Esquema simplificado mostrando o alinhamento dos momentos magnéticos de um material ferromagnético.

Fonte: Halliday (7ª Edição)

Transformador funciona para qualquer tipo de corrente elétrica?

É importante notar que um transformador só funciona quando o mesmo é alimentado com tensão alternada, pois é necessária a variação do fluxo magnético para induzir tensão na bobina secundária do transformador.

Transformadores são utilizados para reduzir ou elevar a tensão no secundário, mas independente de seu uso sempre oferecem isolação entre o enrolamento primário e o secundário. São particularmente utilizados em equipamentos nos quais há a interação humana, garantindo assim maior segurança ao usuário.

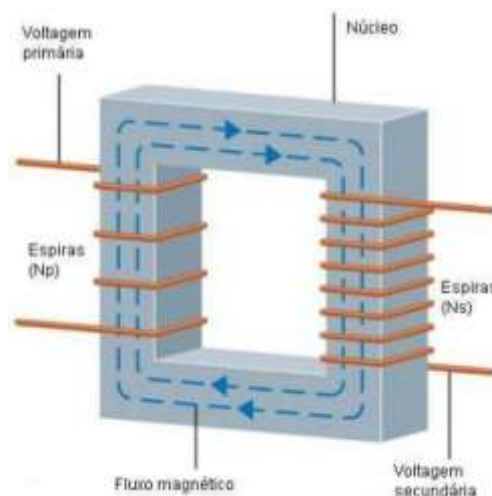


Figura 18: Representação do fluxo magnético no transformador em um dado instante de tempo.

Fonte: <http://www.sigmatransformadores.com.br/o-transformador/>

Desconsiderando-se as perdas, num transformador ideal são válidas as relações,

$$\Delta\phi_P = \Delta\phi_S \qquad \frac{\phi_P}{N_P} = \frac{\phi_S}{N_S} \qquad \varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

, onde $\Delta\phi_P$ e $\Delta\phi_S$ representam o fluxo magnético de cada espira do enrolamento primário e do secundário respectivamente, chegando na **Equação 11**:

$$\frac{\varepsilon_P \Delta t}{N_P} = \frac{\varepsilon_S \Delta t}{N_S} \quad (11)$$

O núcleo de ferro de um transformador atua como um condutor de linhas de campo, por isso só realiza a transformação da intensidade da corrente elétrica em corrente alternada, condição necessária para que haja variação fluxo magnético.

Torna-se interessante lembrar que diferentes autores usam notações diferentes para tratar a grandeza Física diferença de potencial. Neste contexto, f.e.m. (força eletromotriz (ε), tensão (**U**) ou voltagem (**V**), apresentam significado análogo e podem ser compreendidas como a diferença de potencial em cada uma das bobinas. Dessa forma abaixo segue a **Equação 12** geral do transformador ideal:

$$\frac{U_P}{N_P} = \frac{U_S}{N_S} \quad (12)$$

Conforme a **Equação 12**, quanto maior for o número de espiras no secundário em relação ao primário, maior será a tensão obtida no secundário em relação a alimentação do transformador.

Neste caso, como o transformador tratado no equacionamento acima é ideal – não oferece perdas resistivas - a energia fornecida ao enrolamento primário é a mesma que é drenada no secundário. Dessa forma, a potência na bobina primária é igual ao da secundária, conforme apresentado no equacionamento abaixo.

$$P = Ui \qquad U = \frac{P}{i}$$

$$\frac{P_P}{i_P N_P} = \frac{P_S}{i_S N_S} \qquad \boxed{i_S N_S = i_P N_P} \quad (13)$$

Sendo assim, a **Equação 13** apresenta o comportamento da corrente (**i**) em um transformador ideal. Note que quanto maior for o número de espiras (**N**) no secundário em relação ao primário, menor será a corrente elétrica obtida no secundário.



Transformador Comercial



Núcleo de transformador separado

1º passo: separe os dois núcleos



Núcleo sem a bobina



Bobina

2º passo: retire as bobina, depois refaça a bobina para conhecer o número de espira feitas cada suporte, de um lado use o fio fino fazendo 700 espiras e do outro um fio mais grosso, fazendo 300 espiras, conecte em cada bobina um pino (macho) e na outra um pino (fêmea), em seguida isole cada bobina.



Transformador montado

3º passo: Junte os núcleos de forma que fiquem totalmente fixos.

Discussão:

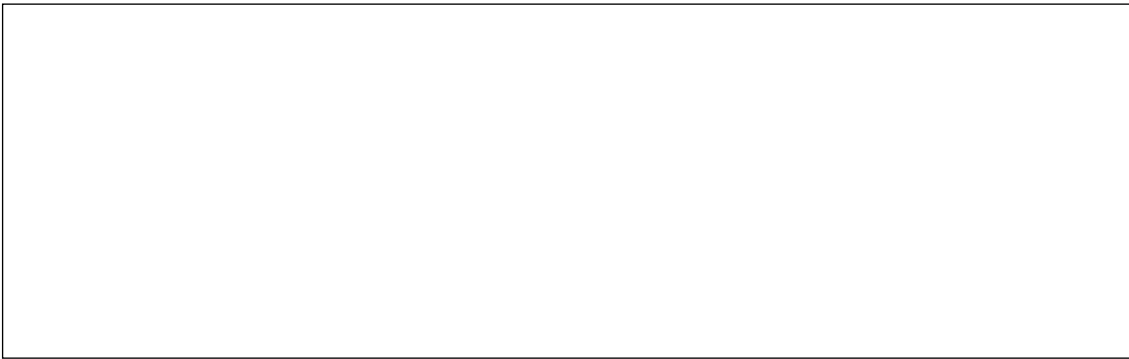
- 1) Conecte a tomada do transformador em uma tensão de 110V e faça a medida com o multímetro conforme a figura ao lado, explique o que aconteceu:



2) Relacione o transformador com as correntes de Foucault.



3) Durante a atividade prática, você percebeu um aquecimento no transformador? Justifique:



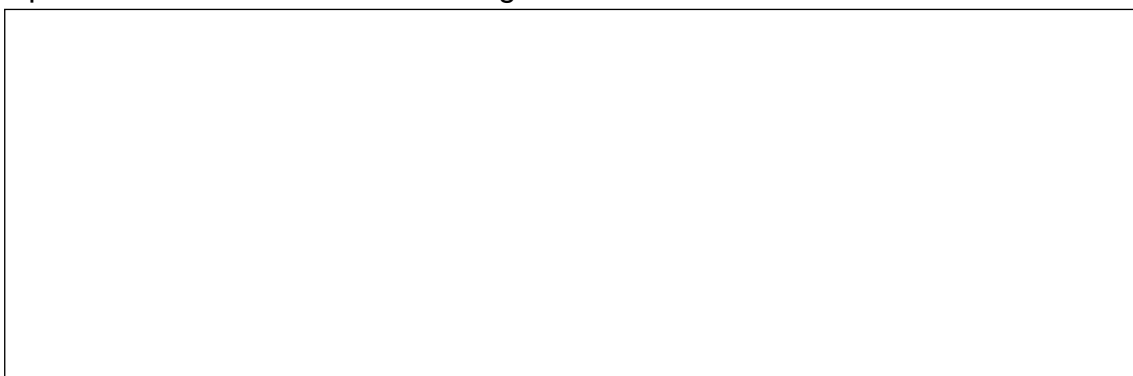
4) O transformador utilizado possui de um lado 700 espiras e do outro 300 espiras. Inverta os lados ligados à rede elétrica e explique o que acontece.



5) Explique o funcionamento do transformador de maneira esquemática, relacionando fluxo magnético, campo magnético, força eletromotriz e corrente.



5) Utilizando apenas a metade do transformador correspondente a 700 volts e ligando a mesma à rede elétrica, explique o que acontece quando aproximamos um material ferromagnético desta metade do transformador.



O que esperamos ao final desta atividade?

Ao final desta atividade do Transformador Desmontável, esperamos que alunos compreendam o real funcionamento do transformador, suas características e benefícios, entender a amplitude de suas tensões, tanto para aumenta-la como

diminuí-la, proporcionalmente ao seu número de espiras. Saber que seu funcionamento depende de uma corrente alternada, para gerar uma variação de fluxo, relacionar este efeito com o aparecimento da força de Lorentz, que gera dissipação da energia mecânica do sistema e correntes de Foucault. Transpor esse aprendizado com o seu dia a dia, como o funcionamento de transformadores públicos, usinas hidrelétrica, transformadores para aparelhos eletrônicos.

QUESTÕES PROPOSTAS

1) (UFRGS) O primário de um transformador alimentado por uma corrente elétrica alternada tem mais espiras do que o secundário. Nesse caso, comparado com o primário, no secundário:

- a) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é contínua
- b) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é alternada
- c) a diferença de potencial é menor e a corrente elétrica é alternada
- d) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é alternada
- e) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é contínua

2) (Unisinos-RS) As companhias de distribuição de energia elétrica utilizam transformadores nas linhas de transmissão. Um determinado transformador é utilizado para baixar a diferença de potencial de 3 800 V (rede urbana) para 115 V (uso residencial).

Nesse transformador:

- I. O número de espiras no primário é maior que no secundário;
- II. A corrente elétrica no primário é menor que no secundário;
- III. A diferença de potencial no secundário é contínua.

Das afirmações acima:

- a) Somente I é correta.
- b) Somente II é correta.
- c) Somente I e II são corretas.
- d) Somente I e III são corretas.
- e) I, II e III são corretas.

3) A tensão elétrica fornecida pelas empresas energéticas em alguns estados do Brasil é 220V, porém muitos aparelhos domésticos trabalham com tensões bem inferiores e já possuem transformadores integrados. Supondo que um aparelho funcione com tensão elétrica de 20V e possua um transformador integrado com 1500 espiras no enrolamento primário. Quantas espiras são necessárias no enrolamento secundário para que a tensão não supere os 20V?

4) A corrente elétrica que passa pelo enrolamento primário do transformador, que tem 800 espiras, é $i_p = 5A$. Calcule a corrente no enrolamento secundário do transformador, sabendo que ele possui 100 espiras.

5) Marque a alternativa **ERRADA**.

a) Transformadores são dispositivos eletromagnéticos que transformam o valor da tensão elétrica alternada, aplicada em sua entrada, para uma tensão alternada diferente na saída.

b) Os transformadores podem ser usados tanto para aumentar quanto para diminuir o valor da tensão.

c) Um transformador consiste em duas bobinas enroladas no mesmo núcleo de ferro.

d) Um transformador consiste em uma bobina enrolada em dois núcleos de ferro.

e) Em transformadores com dois enrolamentos, é comum denominá-los de enrolamento primário e enrolamento secundário.

6) Uma máquina de solda elétrica precisa operar com uma corrente elétrica de 400 A para que haja potência dissipada suficiente para fundir as peças metálicas. A potência necessária é dada por $P = R \cdot i^2$, onde R é a resistência dos eletrodos de solda. Com a intenção de obter esse valor de corrente elétrica, utiliza-se um transformador, que está ligado a uma rede elétrica cuja tensão vale 110 V, e pode fornecer um máximo de 40 A. Qual deve ser a razão do número de espiras entre o enrolamento primário e o secundário do transformador, e qual a tensão de saída?

a) $N_1/N_2 = 5$; $V = 9$

b) $N_1/N_2 = 10$; $V = 11$

c) $N_1/N_2 = 15$; $V = 15$

d) $N_1/N_2 = 20$; $V = 20$

e) $N_1/N_2 = 25$; $V = 22$

REFERÊNCIAS

BARRETO, G., CASTRO JUNIOR, C. A de., MURARI, C. A. F., SATO, F. **Circuitos de Corrente Alternada: Fundamentos e Prática**. 1ª ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Disponível em: <http://www.li.facens.br/~machado/lxo/materiais/Exp8.pdf>. Acesso em 11 de maio de 2016.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**, 3 Volume, Ensino Médio, Editora Ática, 1ª Edição, São Paulo, 2011

DIETRICH, A. B.; CHABU, I. E. ; CARDOSO, J. R. Eddy-current brake analysis using analytic and FEM calculations - Part I : Theory. In: IEMDC 2001, 2001, Cambridge, Massachussets. **IEEE International Electric Machines and Drives Conference**, 2001. p. 454-457

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics**. v. II. 1979. cap. 16-3.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics**. v. II. 1979. cap. 16-3.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**, Volume 3; LTC; 2012.

KAZUHITO, Y.; FUKU, L. F. **Física para o Ensino Médio: Eletricidade Física Moderna**, Volume 3, Saraiva, pg.219, 2013.

MOURA, C. E. **Física para o Ensino Médio Gravitação, Eletromagnetismo e Física Moderna**. EdiPUC, Porto Alegre-RS, 2011.

PAULA, R. N. F. **Correntes de Foucault**. Disponível em:
<http://www.infoescola.com/fisica/corrente-de-foucault/>. Acessado em 23 de abril de 2016.

SILVA, D. C. M.; **Fluxo Magnético**. Disponibilizado em:
<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/fluxo-magnetico.htm>, acessado em 21 de abril de 2016.

SILVA, P. **Correntes de Foucault**. Disponível em:
<http://www.estudopratico.com.br/corrente-de-foucault-historico-e-o-que-ocorre-nela/>. Acesso em 20 de maio de 2016.

SILVEIRA, F.L; LEVIN, Y; RIZZATO, F. B; **A frenagem eletromagnética de ímã que cai**. Caderno Brasileiro de ensino de Física, UFRGS. 2007. Disponível em:
http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Queda_freada_magneto.pdf. Acesso em 20 de Abril de 2016.

ZINN, S.; SEMIATIN, S. L. **Elements of Induction Heating** .ASM International, 1988.