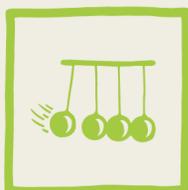


meSalva!



# ELETROMAGNETISMO



MESOPOTÂMIA  
ASPECTOS CULTURAIS

AFIXOS

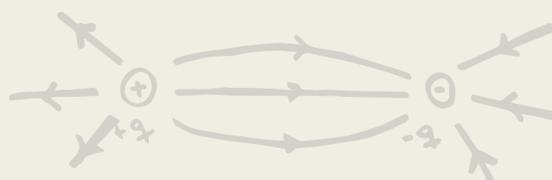
CONTROLADO

MENTE

SUFIXO

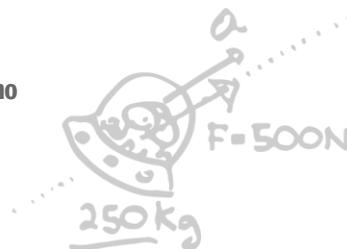
SINAL DE  
REGULAÇÃO

CAFETERIA



**MÓDULOS CONTEMPLADOS**

- ✓ IELM - Introdução - Ímãs e Campos Magnéticos
- ✓ FMAG - Força magnética (Lorentz)
- ✓ ECFL - Exercícios e casos particulares de força de Lorentz
- ✓ CMCA - Campo Magnético Gerado por Corrente
- ✓ ECMC - Exercícios e Casos Particulares
- ✓ FMIE - Fluxo Magnético e Indução Eletromagnética
- ✓ LEIF - Lei de Faraday
- ✓ TROA - Transformadores e Outras Aplicações
- ✓ EELM - Exercícios de Eletromagnetismo
- ✓ TELM - Tópicos Especiais e Deduções em Eletromagnetismo
- ✓ HELM - Exercícios Nível Hard de Eletromagnetismo
- ✓ PELM - Eletromagnetismo na Prática



meSalva!

**CURSO**

**EXTENSIVO 2017**

**DISCIPLINA**

**FÍSICA**

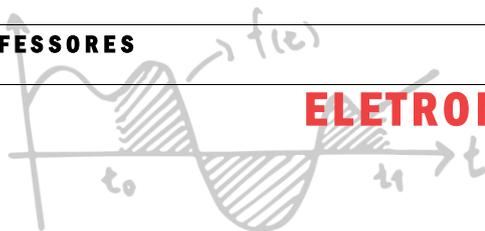
**CAPÍTULO**

**ELETROMAGNETISMO**

**PROFESSORES**

**EDUARDO GRABIN**

**ELETROMAGNETISMO**



E aí, galera do Me Salva!

Vocês sabem como os portugueses conseguiram chegar até o Brasil? Opa, espera aí! Isso não deveria ser uma apostila de Física? E é exatamente isso! Mas acontece que eles só conseguiram chegar até nosso país através da Física! Vocês já ouviram falar da bússola e como ela é usada, certo? Pois então, sem a utilização de bússolas, a esquadra portuguesa jamais teria tido sucesso nas navegações e chegado, então, à região que hoje chamamos de Brasil – e isso tem tudo a ver com a Física! A bússola é uma aplicação direta de um fenômeno eletromagnético! Em termos práticos, a Terra funciona como um ímã gigante e o ponteiro da bússola se orienta conforme os polos do nosso planeta.

Isso não acaba por aqui! Você pode ler sobre a bússola e pensar que o eletromagnetismo só está envolvido com tecnologia antiga, certo? Errado! Sabe esse aparelhinho que está aí no seu bolso? O seu celular? Ele só funciona graças à existência das ondas eletromagnéticas! Toda informação que você envia só chega até outra pessoa através de fenômenos eletromagnéticos!

O que iremos estudar nesta apostila vai possibilitar entender como tudo isso funciona. Tenho certeza que, ao final deste estudo, você também estará fascinado pelo eletromagnetismo, especialmente pelas aplicações dele em nosso dia a dia, como no seu forno micro-ondas ou na rede de comunicação mundial!

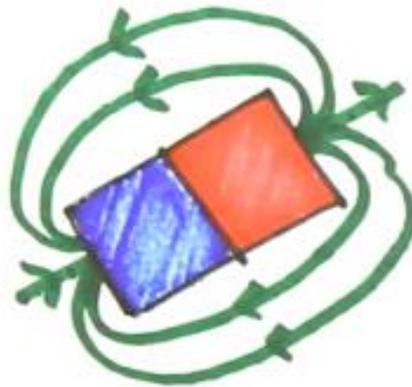
meSalva!

## PRINCÍPIOS DOS ÍMÃS

Tenho certeza que você já teve a experiência de brincar com ímãs quando era criança, não é? Mas você já percebeu o quão fascinante eles são? É incrível como dois ímãs conseguem se repelir ou se atrair sem mesmo se encostar! Mais incrível ainda é que eles fazem isso mesmo se colocarmos nossa mão entre eles. Mas como isso pode acontecer? Só pode ser mágica, certo? Claro que não, é Física!

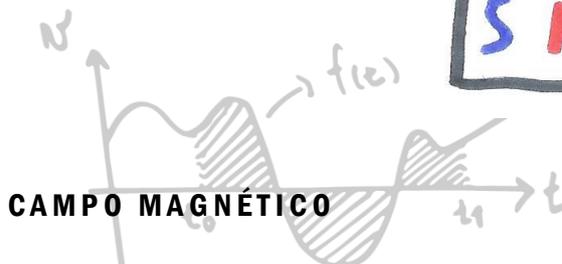
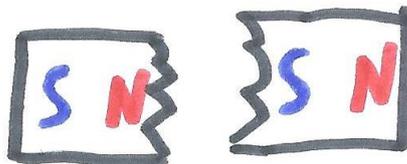
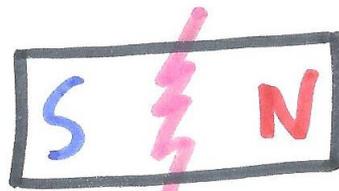


Existe uma força entre os ímãs que pode ser de atração ou de repulsão. Essa força é chamada de força magnética e funciona de forma muito parecida com as forças elétricas. A diferença é que aqui existem pólos magnéticos ao invés de cargas elétricas. Cada ímã possui, necessariamente, dois pólos, um Norte e um Sul, responsáveis pela origem das forças magnéticas.



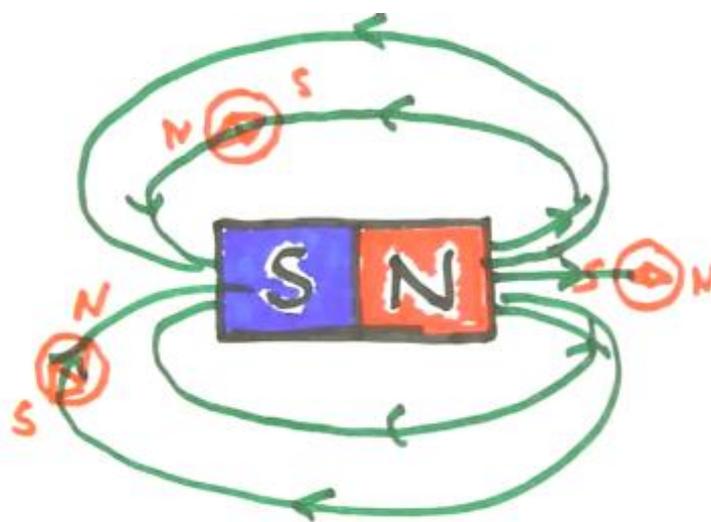
Estes pólos interagem exatamente como as cargas elétricas - lembra delas? Basta pensarmos em Norte e Sul ao invés de positivo e negativo. Aqui pólos de mesmo nome se repelem e de nomes diferentes se atraem.

Outro princípio muito importante e incrível dos ímãs é a inseparabilidade dos pólos. Ao contrário do que acontece com as cargas elétricas, que são negativas ou positivas, um mesmo ímã é composto por um polo Norte e um polo Sul, assim, ao dividirmos um ímã ao meio, não teremos um Norte separado de um Sul; obteremos dois novos ímãs, cada um com um polo Norte e um polo Sul, exatamente como a imagem abaixo mostra.



Vamos usar novamente a Eletrostática para nos ajudar! Lembra do Campo Elétrico que existe em volta de uma carga elétrica? Aqui existe algo parecido em volta dos ímãs, é o Campo Magnético. Você já deve ter percebido que o magnetismo está intimamente ligado à eletricidade, certo? É isso mesmo, inclusive existe uma relação direta entre o Campo Elétrico e o Magnético. Estudaremos isso mais adiante!

A atração e repulsão dos ímãs está diretamente relacionada ao Campo Magnético! Dessa forma, podemos caracterizar este conceito como uma influência magnética ao longo do espaço e podemos associar um vetor campo magnético a cada ponto do espaço, cuja direção e sentido representam a orientação de uma bússola colocada naquele ponto e cujo módulo representa o quão intensa é a influência magnética nele.



### LINHAS DE CAMPO EM UM ÍMÃ

Ao contrário das linhas de Campo Elétrico, que podem se estender para longe das cargas, as linhas de Campo Magnético circundam os ímãs e são sempre fechadas. Não existe início nem final; a direção dessas linhas depende da localização que estamos analisando. Quando tratamos do exterior de um ímã, a orientação das linhas se dá do polo Norte para o polo Sul. Você pode observar isso na imagem anterior! Já em seu interior ocorre justamente o contrário, a orientação é do polo Sul para o polo norte.

### REPRESENTAÇÃO DO CAMPO

Quando estivermos analisando problemas envolvendo Campos Magnéticos, será muito comum encontrarmos situações em que a direção do campo é perpendicular ao plano da página, ou seja, a direção do campo estará entrando no papel. Assim, precisamos de uma representação que nos indique



se o campo está direcionado para dentro ou para fora da página. Existe uma convenção para esta representação; a jogada é imaginar o campo como sendo uma flecha. “Uma flecha?” Isso mesmo, aquelas com penas na ponta, comuns em desenhos animados! Quando o Campo estiver entrando na página, veremos a parte traseira da flecha, ou seja, as penas em formato de “x”. Já quando o campo estiver saindo da página, veremos apenas um ponto, a parte frontal da flecha. Se liga na representação abaixo, ela mostra exatamente isso!

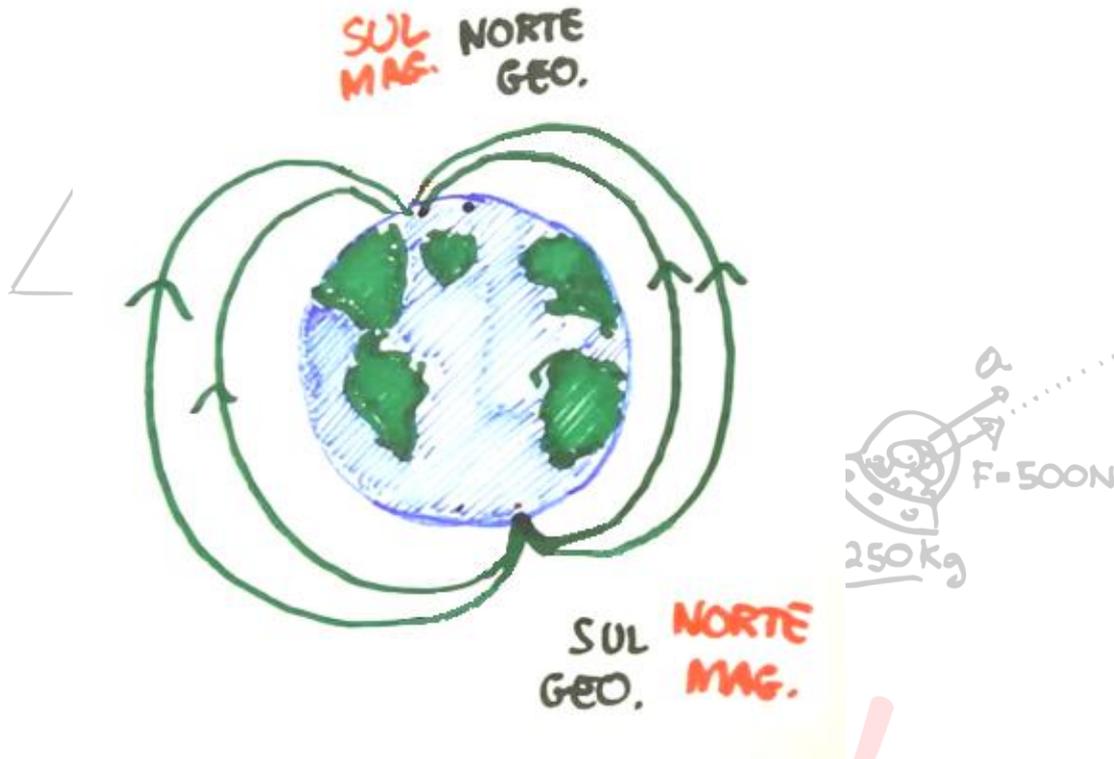


**Dicas importantes!** No desenho do campo magnético, o sentido das linhas representa a orientação que uma bússola teria naquele local. Além disso, quanto mais próximas estiverem as linhas, mais intenso será o campo naquele ponto.

## MAGNETISMO DA TERRA

Lembra do início da nossa apostila, quando relacionamos a chegada dos portugueses no Brasil à Física? É justamente aqui que entenderemos isso. É o magnetismo da Terra que faz os ímãs funcionarem. Como todos sabemos, um ímã tende a se orientar apontando o seu polo Norte para o Norte geográfico da Terra e o seu polo Sul para o Pólo Sul geográfico. Mas espera aí, isso pode parecer confuso. Não havíamos estudado que polos de mesmo nome se atraem e polos de nomes contrários se repelem? Claro que sim. Isso é sempre verdade. O que podemos concluir é que a região Norte da Terra corresponde a um polo Sul Magnético, e a região Sul da Terra corresponde ao polo Norte Magnético da mesma.

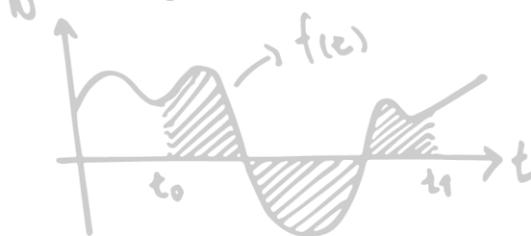
Que estranho! Quer dizer que a Terra é um ímã gigante? Isso mesmo! A origem mais provável do campo magnético da Terra está nas rochas derretidas que existem no seu núcleo. Íons carregados ou elétrons circulando no interior líquido do planeta podem produzir um campo magnético da mesma maneira que a corrente elétrica em um fio, como estudaremos mais adiante.



**Conhecimentos Gerais!** Amostras antigas de rochas terrestres apontam, através da orientação das partículas de ferro em seu interior, que o campo magnético da Terra já inverteu sua orientação diversas vezes ao longo da história do planeta.

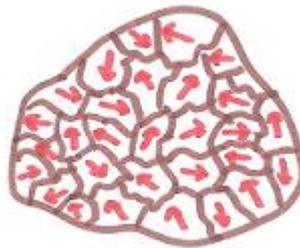
## MAGNETISMO DA MATÉRIA

Cartões de crédito são muito comuns em nosso cotidiano e certamente você já teve contato com um, não é? E se eu falar que eles funcionam graças à Física, você acreditaria? Vamos entender isso: a película magnética de um cartão de crédito (aquela barrinha preta!) contém milhões de minúsculos domínios magnéticos que são mantidos juntos por uma resina colante; os dados são codificados com códigos binários, composto por zeros, e uns diferenciados pela frequência de inversão dos domínios magnéticos.





Agora você pode estar se perguntando: “mas o que é um domínio magnético?”. É a orientação magnética do aglomerado de átomos que formam todos objetos.



Classificamos os materiais em três tipos, de acordo com suas propriedades magnéticas, ou seja, conforme seus domínios magnéticos:

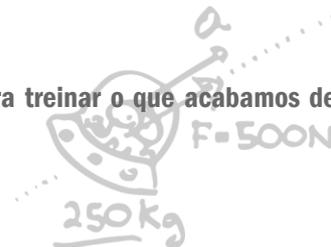
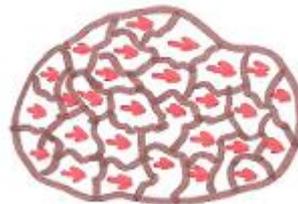
**Diamagnéticos:** Quando um campo magnético é colocado sobre um material, um pequeno campo magnético se forma no interior do material na direção oposta ao campo aplicado, fazendo com que o material seja fracamente repelido por um ímã. Existem diversos exemplos deste tipo de material, entre eles o mercúrio, ouro, cobre, água, petróleo e a maioria dos compostos orgânicos;

**Paramagnéticos:** São materiais cujas moléculas apresentam um pequeno campo magnético natural em função da distribuição eletrônica. Como o campo de cada molécula está orientado para uma direção diferente (aleatoriamente), o campo magnético total é nulo. Quando um campo magnético é aplicado sobre o material, ele tende a orientar os dipolos magnéticos de maneira a alinhá-los com o campo, deixando o material levemente magnetizado, de maneira que ele é fracamente atraído pelo ímã. A magnetização é perdida assim que o campo externo é removido e o efeito é fortemente influenciado pela temperatura. Quanto maior a temperatura, mais difícil é o alinhamento dos dipolos magnéticos. O alumínio e o titânio são exemplos de metais paramagnéticos; o oxigênio, apesar de não ser metal, também é paramagnético;



**Ferromagnéticos:** Os materiais ferromagnéticos apresentam domínios magnéticos alinhados, ou seja, o campo magnético de suas moléculas apresenta uma única direção. Estes domínios se alinham facilmente com um campo externo, fazendo com que os materiais ferromagnéticos sejam fortemente atraídos por um ímã e o campo magnético total seja intensificado muitas vezes. Os domínios tendem a se manter alinhados mesmo que o campo externo seja removido, isto é, o material se torna um ímã temporário (processo conhecido como imantação). Os domínios magnéticos podem ser desalinhados, ou seja, as propriedades magnéticas do material podem ser perdidas através de pancadas bruscas ou da elevação da temperatura até o Ponto Curie, em que a agitação térmica é grande demais para que os domínios mantenham seu alinhamento. Somente metais são ferromagnéticos; os exemplos mais importantes são ferro, níquel e cobalto.

E aí, já está preparado para alguns exercícios? Aproveite para treinar o que acabamos de



estudar!



**Exercício 1:** Pensando sobre a questão dos polos - magnéticos e geográficos - podemos afirmar que o norte geográfico \_\_\_ o norte magnético, pois, como sabemos, uma bússola sobre a superfície da Terra está imersa no campo magnético produzido por esta. Então, quando o norte de um ímã aponta para o norte geográfico, podemos concluir que o norte geográfico é um \_\_\_\_\_, pois as linhas de campo seguem naquela direção.

Qual a sequência que completa as lacunas corretamente?

- a) não é - Norte Magnético
- b) é - Sul Magnético
- c) é - Norte Magnético
- d) não é - Sul Magnético
- e) pode ser - Sul Magnético



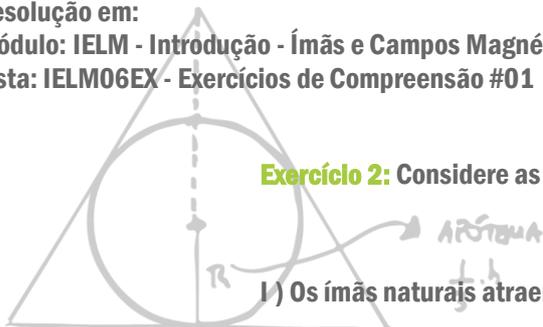
Correta: D



Resolução em:

Módulo: IELM - Introdução - Ímãs e Campos Magnéticos

Lista: IELM06EX - Exercícios de Compreensão #01



**Exercício 2:** Considere as afirmações abaixo:

- I ) Os ímãs naturais atraem todos os tipos de metais;
- II ) Um polo norte atrai um polo sul;
- III ) Existem monopolos magnéticos.

Quais afirmações são incorretas?

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



**Correta: D**

Resolução em:

Módulo: IELM - Introdução - Ímãs e Campos Magnéticos

Lista: IELM02EX - Exercícios de Compreensão #01

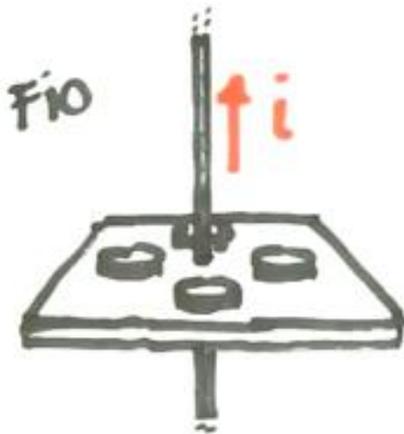
## RELAÇÃO ENTRE MAGNETISMO E ELETRICIDADE

Você já deve ter percebido a forte relação entre o magnetismo e a eletricidade, certo? Pois então, essa relação foi descoberta em 1819, quando o cientista Oersted observou um fenômeno incrível! Durante um experimento, ele deixou uma bússola ao lado de um fio condutor. O que aconteceu foi que, quando ele passou uma corrente elétrica por esse fio, a agulha da bússola passou a se movimentar. Incrível, não é? Essa descoberta deu origem ao estudo da relação entre a eletricidade e o magnetismo – o eletromagnetismo.

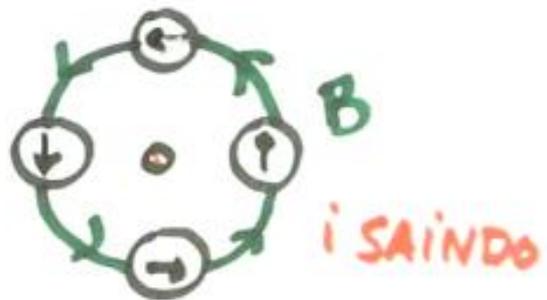
Nos anos seguintes, mais conexões foram mostradas entre eletricidade e magnetismo por Michael Faraday, que observou que um campo magnético variável pode criar uma corrente elétrica. Anos mais tarde, Maxwell mostrou que o contrário também é possível: um campo elétrico variável pode produzir um campo magnético.



Vamos entender como essa relação entre magnetismo e eletricidade funciona. Imagine várias bússolas em torno de um fio condutor; quando não há corrente elétrica passando pelo fio, todas as bússolas apontam para a mesma direção, o polo Norte geográfico da Terra. Quando o fio é percorrido por uma corrente elétrica, as bússolas mudam de direção, apontando todas para a direção tangente ao círculo, exatamente a direção das linhas de Campo Magnético criadas pela corrente.

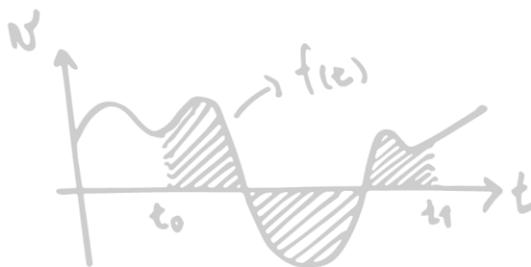


VISTA SUP.

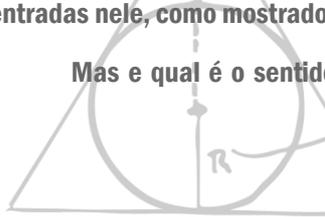


**FONTES DE CAMPO MAGNÉTICO**

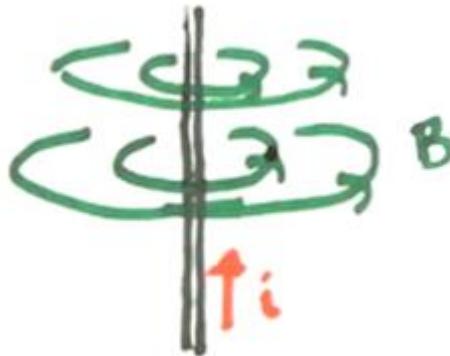
**CAMPO MAGNÉTICO DE UM FIO RETILÍNEO LONGO**



No início desta apostila comentamos que as linhas de campo magnético são fechadas, lembra? Pois então, o que veremos agora é como essas linhas de campo se comportam em torno de um fio muito longo percorrido por uma corrente elétrica. As linhas envolvem esse fio, sendo circunferências centradas nele, como mostrado na figura abaixo.



Mas e qual é o sentido dessas linhas, horário ou anti-horário? Isso depende da direção da



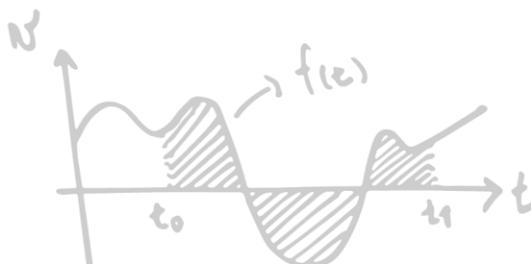
corrente elétrica. Mais adiante descobriremos que, na prática, o sentido das linhas magnéticas pode ser obtido através da regra da mão direita.

A intensidade do vetor campo magnético em um ponto P a uma distância d do fio é dada pela seguinte relação:

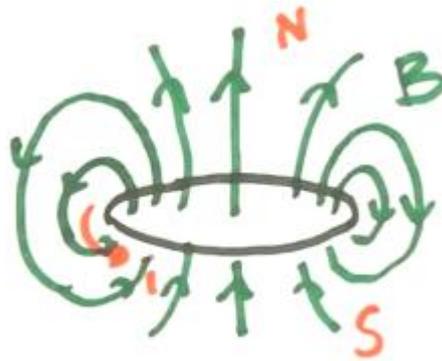
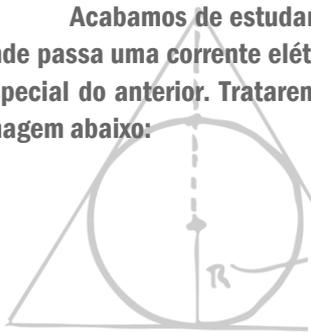
$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d}$$

Em que B é o vetor campo magnético no ponto P, dado em Teslas [T], e  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Tm/A}$  é uma constante chamada de permeabilidade magnética do vácuo.

**ESPIRA CIRCULAR**



Acabamos de estudar que existem linhas de Campo Magnético em volta de um condutor por onde passa uma corrente elétrica, certo? O caso que veremos agora pode ser definido como um caso especial do anterior. Trataremos de um fio enrolado, chamado de espira circular e representado na imagem abaixo:

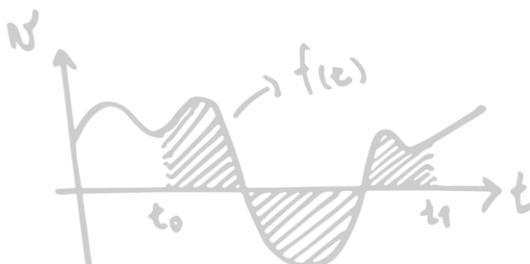


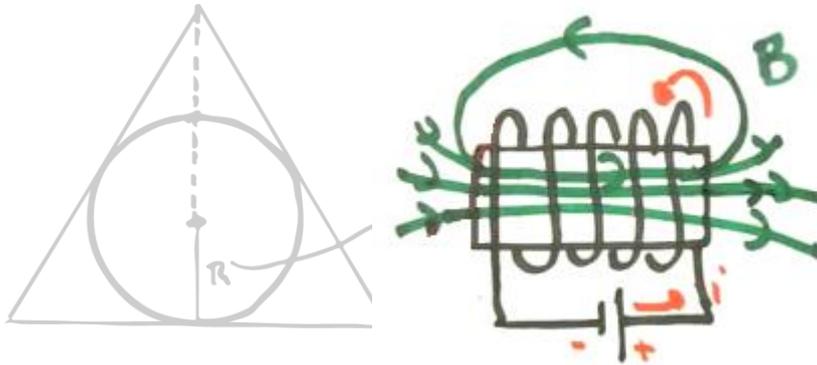
As linhas de campo atravessam o plano da espira de forma perpendicular. Neste tipo de problema normalmente precisaremos calcular a intensidade do campo magnético no centro da espira circular. Tomando R como o raio da espira e i como a corrente que passa por ela, o módulo do vetor Campo Elétrico naquele ponto é calculado por:

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

### SOLENOIDE

Esse caso é uma mistura dos dois casos anteriores. Um solenoide é um fio longo enrolado na forma de uma hélice (exatamente como a espiral de caderno!). Quando existe uma corrente elétrica percorrendo este solenoide, podemos dizer que há um campo magnético razoavelmente uniforme no interior dele.





Utilizaremos solenoides ideais em todos os problemas, isto é, que apresentam um comprimento muito maior do que o seu diâmetro. O campo magnético no interior deste tipo de solenoide é dado por:

Em que  $N$  é o número de voltas (número de espiras ao longo do solenoide) e  $L$  é o comprimento

$$B = \frac{\mu_0 i N}{L}$$

dele.

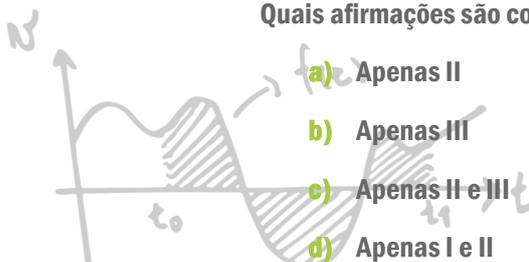
**Dica do MeSalva!** Note que a configuração das linhas de campo de um solenoide é similar àquelas de um ímã – isto é, o solenoide percorrido por corrente se comporta como se tivesse um polo Norte e um Sul.

E aí, tudo tranquilo com o conteúdo? Temo três exercícios para você fazer o teste:

**Exercício 3:** Considere as afirmações abaixo:

- I ) Nem toda corrente elétrica produz um campo magnético.
- II ) No experimento de Oersted foi possível concluir que o sentido do campo magnético produzido pelo fio dependia do sentido da corrente.
- III ) A forma do campo magnético produzido por um fio é um círculo.

Quais afirmações são corretas?



- a) Apenas II
- b) Apenas III
- c) Apenas II e III
- d) Apenas I e II



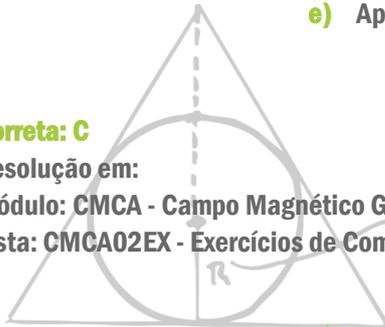
e) Apenas I e III

Correta: C

Resolução em:

Módulo: CMCA - Campo Magnético Gerado por Corrente

Lista: CMCA02EX - Exercícios de Compreensão #01



Exercício 4: Ponderando sobre as afirmações abaixo:

I ) Considere um fio extremamente longo no vácuo; quanto maior a corrente, maior será o alcance do campo magnético gerado por esta corrente.

II ) O valor do campo magnético em torno de um fio longo no vácuo não depende do meio onde eles estão.

III ) A distância não interfere na capacidade do campo magnético produzido por um fio longo que se encontra no vácuo.

Quais afirmações são incorretas?

a) Apenas I

b) Apenas II

c) Apenas III

d) Apenas I e III

e) Apenas II e III

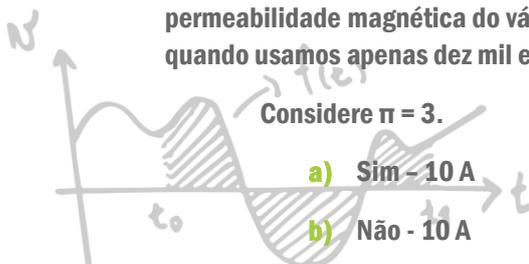
Correta: E

Resolução em:

Módulo: CMCA - Campo Magnético Gerado por Corrente

Lista: CMCA04EX - Exercícios de Compreensão #01

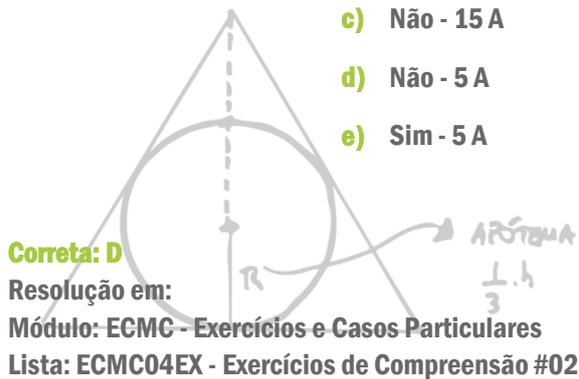
Exercício 5: Um campo magnético produzido no interior de um solenoide é 0,2 Tesla, sendo que este solenoide tem 0,3 m de comprimento e dez mil espiras. Mantendo o mesmo campo magnético, poderíamos diminuir a corrente quatro vezes se aumentássemos quatro vezes o número de espiras? Sendo a constante de permeabilidade magnética do vácuo  $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ , qual a corrente no solenoide quando usamos apenas dez mil espiras?



Considera  $\pi = 3$ .

a) Sim - 10 A

b) Não - 10 A



**Correta: D**  
 Resolução em:  
 Módulo: ECMC - Exercícios e Casos Particulares  
 Lista: ECMC04EX - Exercícios de Compreensão #02

c) Não - 15 A

d) Não - 5 A

e) Sim - 5 A

## FORÇA MAGNÉTICA - FORÇA DE LORENTZ

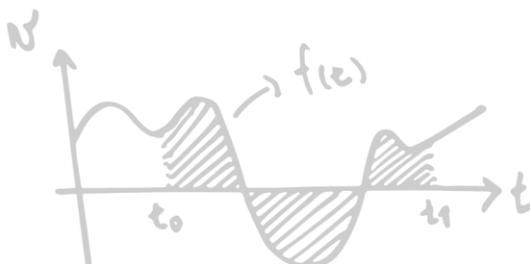
Mais uma vez, relacionaremos o magnetismo com a eletricidade! Imagine uma carga elétrica se movendo em um local onde existe um campo magnético. Pois então, ao se movimentar neste local, a carga sentirá uma força magnética agindo sobre ela. Você lembra das Leis de Newton, mais especificamente da segunda - "Força resultante gera aceleração"? No caso da carga, existirá uma aceleração centrípeta agindo sobre ela, ou seja, a força magnética gerada modificará a direção da velocidade da carga sem alterar o seu módulo.

Vamos analisar mais um pouco desta força. Ela é dependente do valor da carga ( $q$ ), do módulo da velocidade com que a carga se desloca ( $v$ ) e da intensidade do Campo Magnético na região que a carga atravessa ( $B$ ). Além disso, o módulo desta força envolve o ângulo entre os vetores da velocidade  $v$  e do campo magnético  $B$ .

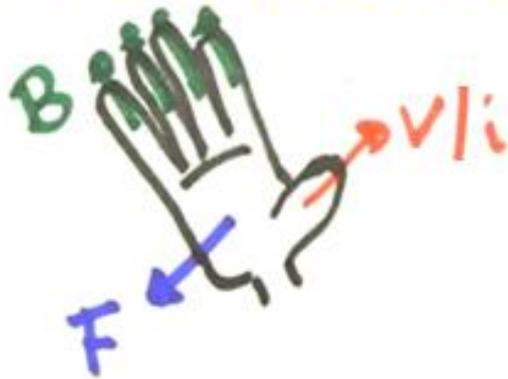
$$F = B \cdot v \cdot q \cdot \text{sen}(\theta)$$

Sua direção é sempre perpendicular à velocidade e à direção do Campo Magnético no local, gerando a aceleração centrípeta.

Lembra de quando estudamos as grandezas vetoriais? Discutimos que eram necessários três parâmetros para conhecermos totalmente este tipo de grandeza. Força é uma grandeza vetorial, certo? Aqui já sabemos a direção e o módulo desta força, então nos resta descobrir qual é o sentido dela! Existe uma regra muito fácil para encontrarmos isso, a regra da mão direita.



REGRA DA MÃO DIREITA "TAPA"



DEDOS: B

DE DÃO: i

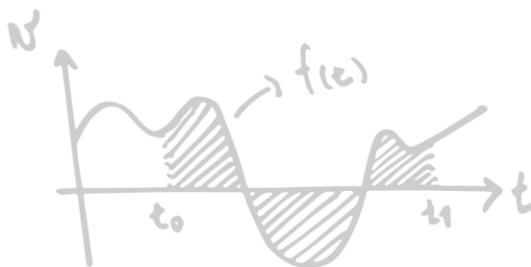
TAPA (PALMA): F

O modo de utilizar esta regra é muito simples, basta colocar os dedos na direção do Campo Magnético B e colocar o seu dedão na direção da velocidade da carga. No desenho acima está indicado v ou i, pois também podemos utilizar esta regra em problemas envolvendo corrente elétrica. A força magnética nesta carga vai ter o sentido saindo da palma da sua mão, como na direção de um "tapa".

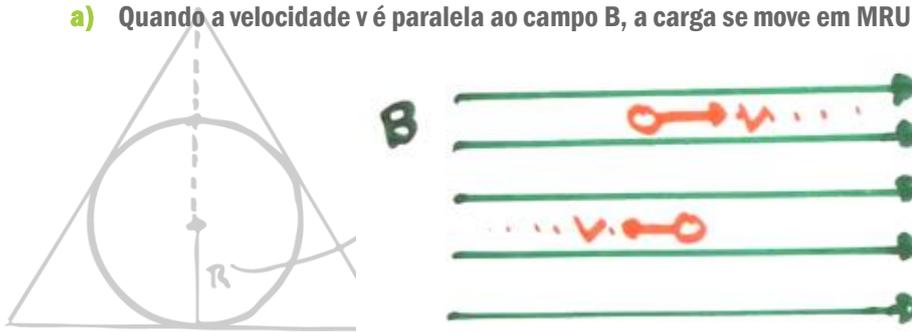
250 kg



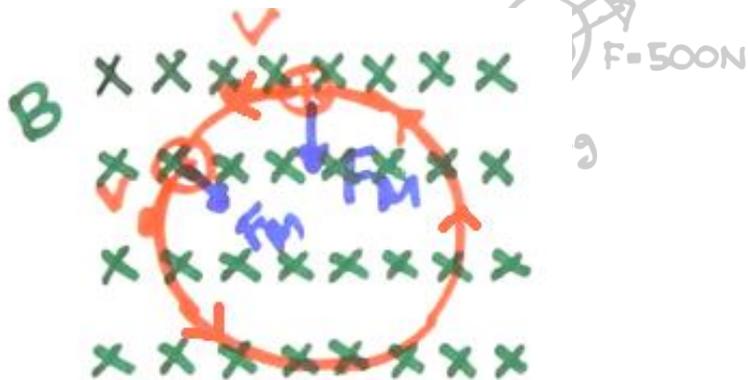
CASOS PARTICULARES



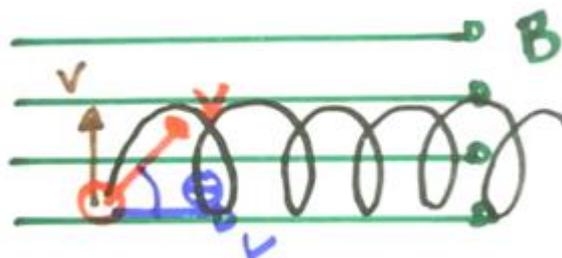
a) Quando a velocidade  $v$  é paralela ao campo  $B$ , a carga se move em MRU;



b) Quando a velocidade é perpendicular ao campo  $B$ , o movimento é circular e uniforme (MCU);



c) Quando a velocidade é oblíqua ao campo, o movimento da carga é helicoidal e uniforme (MHU);



Agora é sua vez de praticar. Aproveite estes exercícios para testar o seu conhecimento sobre a força magnética!

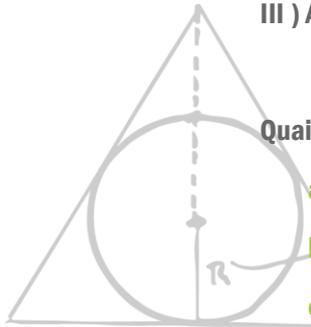
**Exercício 6:** Considere as afirmações abaixo:

I ) A Força Magnética que atua sobre uma carga sempre será perpendicular ao campo magnético e à velocidade.

II ) A Força Magnética altera apenas a direção da velocidade.

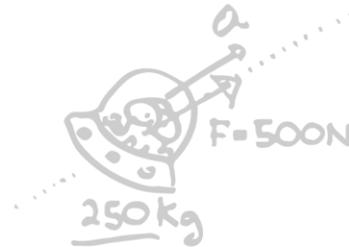


III ) A Força Magnética atua sobre as cargas em movimento.



Quais afirmações são corretas?

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



Correta: E

Resolução em:

Módulo: FMAG - Força magnética (Lorentz)

Lista: FMAG02EX - Exercícios de Compreensão #01

Exercício 7: Considere as afirmações abaixo:

I ) Se uma carga movimenta-se paralelamente a um campo magnético, a força magnética sobre ela é diferente de zero;

II ) Uma carga que se movimenta perpendicularmente a um campo magnético dá origem a uma força que é perpendicular à velocidade e ao campo magnético.

III ) O movimento de uma carga que se desloca paralelamente a um campo magnético é um MRU.

Quais afirmações são corretas?

- a) Apenas I
- b) Apenas II
- c) Apenas III
- d) Apenas I e III
- e) Apenas II e III

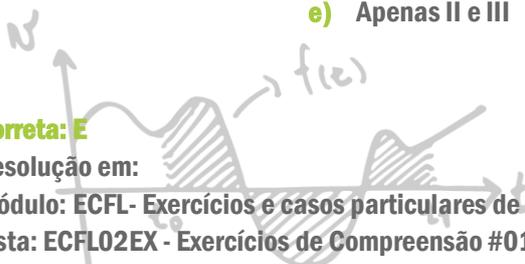


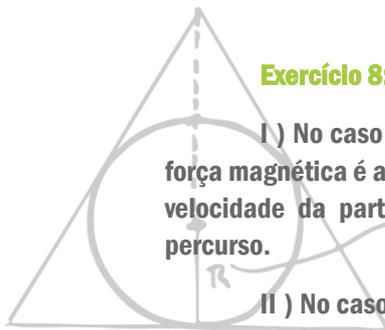
Correta: E

Resolução em:

Módulo: ECFL- Exercícios e casos particulares de força de Lorentz

Lista: ECFL02EX - Exercícios de Compreensão #01





**Exercício 8:** Considere as afirmações abaixo:

I) No caso de uma partícula carregada estar realizando um MCU, em que a força magnética é a força que a mantém neste tipo de movimento, se aumentarmos a velocidade da partícula o período é menor, pois a partícula fará mais rápido o percurso.

II) No caso de uma partícula carregada estar realizando um MCU, em que a força magnética é a força que a mantém neste tipo de movimento, o período não depende da velocidade.

III) No caso de uma partícula carregada estar realizando um MCU, em que a força magnética é a força que a mantém neste tipo de movimento, quanto maior a massa da partícula carregada, maior será o período, pois a inércia seria maior.

Quais afirmações estão incorretas?

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

**Correta: C**

Resolução em:

Módulo: ECFL- Exercícios e casos particulares de força de Lorentz

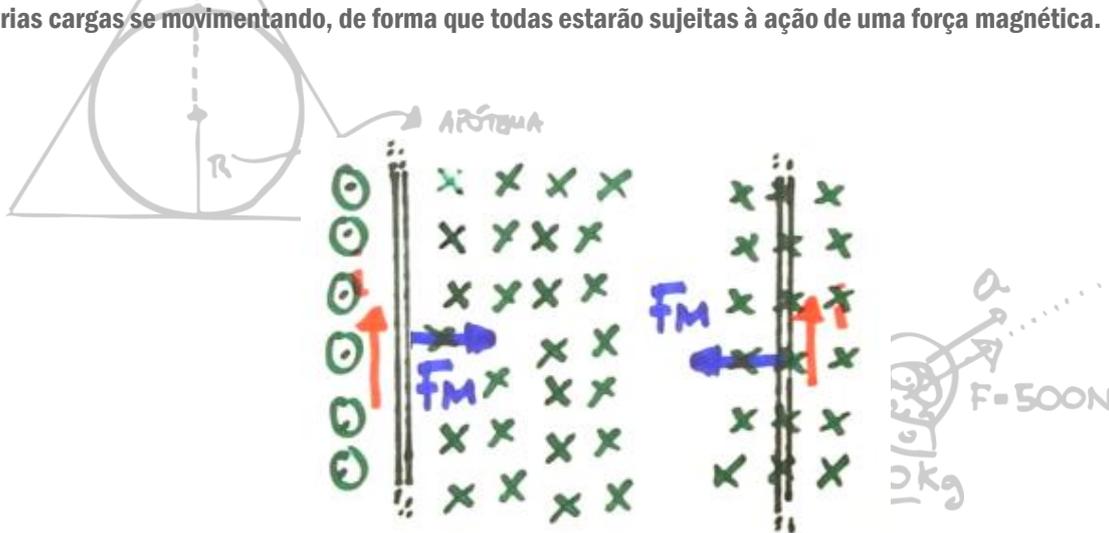
Lista: ECFL04EX - Exercícios de Compreensão #01

## FORÇA ENTRE CONDUTORES RETILÍNEOS

Assim como uma carga elétrica em movimento dentro de um Campo Magnético sofre uma força, quando dois fios condutores são colocados lado a lado eles também sofrem a ação desta mesma força. Mas espera aí, então é necessário que eles estejam inseridos dentro de uma região de Campo Magnético, certo? Não! Lembra que, em torno de fios que conduzem corrente elétrica, surge um Campo Magnético? Pois então, quando dois fios são colocados lado a lado, cada um sofre a ação do campo gerado pelo outro.



Vamos começar analisando apenas um condutor. O Campo Magnético externo causado pelo outro fio somado às cargas em movimento dentro do condutor são exatamente àquele caso de uma carga elétrica se movimentando em uma região de Campo Magnético. A diferença é que aqui existem várias cargas se movimentando, de forma que todas estarão sujeitas à ação de uma força magnética.

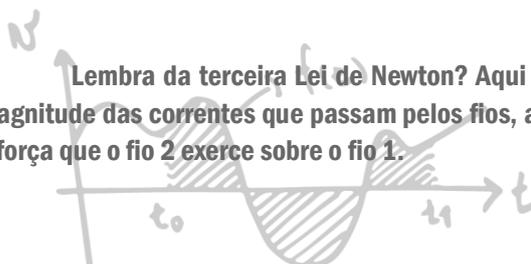


O processo de análise desta força também é dado por uma espécie de regra da mão direita. Se liga na imagem abaixo, ela explica direitinho como encontrar a direção do Campo Magnético em torno de um condutor retilíneo. O módulo desta força é encontrado de forma similar à do caso anterior, a diferença é que o produto carga por velocidade é substituído por corrente ( $i$ ) pelo comprimento do fio ( $L$ ).

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \text{sen}(\theta)$$

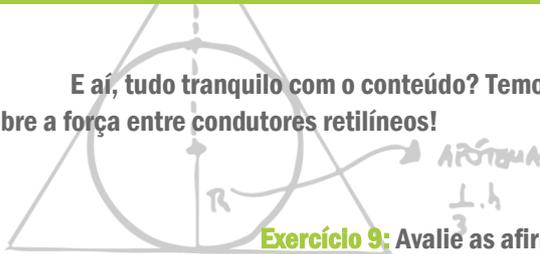


Lembra da terceira Lei de Newton? Aqui temos uma aplicação direta dela! Independente da magnitude das correntes que passam pelos fios, a força que o fio 1 exerce no fio 2 é exatamente igual à força que o fio 2 exerce sobre o fio 1.



**Você precisa lembrar! Toda corrente elétrica cria um campo magnético ao redor do fio.**

E aí, tudo tranquilo com o conteúdo? Temos dois exercícios para você praticar o que aprendeu sobre a força entre condutores retilíneos!



**Exercício 9:** Avalie as afirmações abaixo:

- I ) Dois fios paralelos que têm corrente no mesmo sentido se atraem.
- II ) As correntes determinam a força com que um fio puxa o outro quando os dois estão paralelos e as correntes no mesmo sentido.
- III ) A atração de um fio paralelo a outro, em que ambos têm correntes no mesmo sentido, ocorre devido ao campo magnético que um produz na vizinhança do outro.

Quais afirmações são corretas?

- a) Apenas III
- b) Apenas II
- c) Apenas I e II
- d) Apenas I e III
- e) Apenas II e III

**Correta: C**

Resolução em:

Módulo: ECMC- Exercícios e Casos Particulares

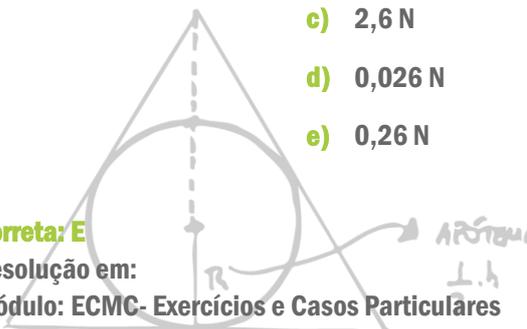
Lista: ECMC06EX - Exercícios de Compreensão #01

**Exercício 10:** Entre dois postes há dois fios paralelos de 10 m cada um; eles estão há 0,5 metros um do outro e um transporta 180 A e o outro 360 A. As correntes têm mesmo sentido. Qual a força de atração entre os dois fios?



Considere a constante de permeabilidade magnética do vácuo  $4\pi \times 10^{-7}$

- a) 0,0026 N
- b) 26 N



c) 2,6 N  
d) 0,026 N  
e) 0,26 N

**Correta: E**  
Resolução em:  
Módulo: ECMC- Exercícios e Casos Particulares  
Lista: ECMC06EX - Exercícios de Compreensão #02

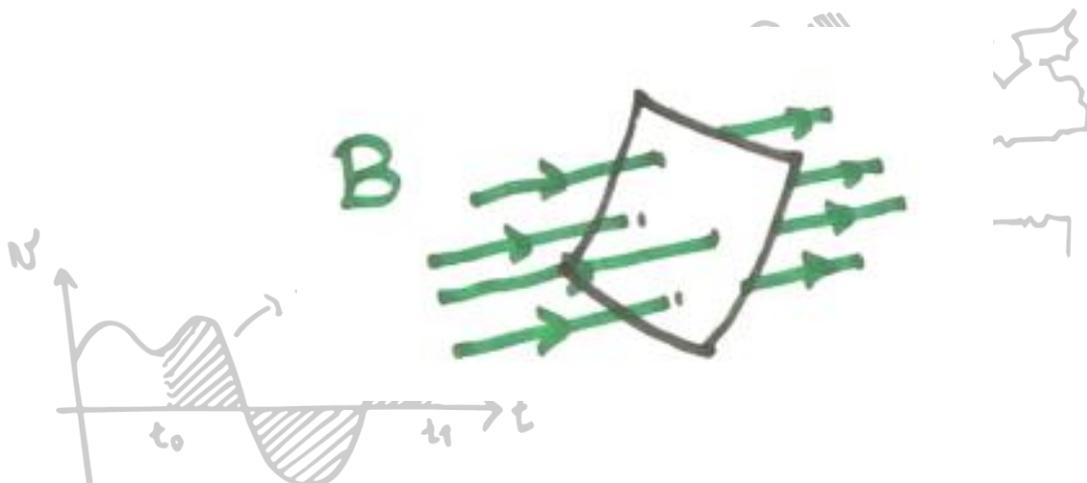
## INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Lembra quando estudamos que corrente elétrica gera campo magnético? Neste tópico estudaremos justamente a relação inversa! Como um campo magnético pode gerar corrente elétrica! Para isso, vamos começar estudando alguns novos conceitos. Preparados?

### FLUXO MAGNÉTICO ( $\Phi$ )

Nossa primeira reação ao ler “fluxo magnético” é de susto, certo? Se o nome já é complicado, imagina o significado! Que nada! Vamos juntos entender isso!

Imagine que você tem um ímã. Já estudamos que existem linhas de Campo Magnético em torno dos ímãs, lembra? Agora imagine que você coloca um anel (sim, esse mesmo de usar no dedo!) ao lado do polo Norte deste ímã – também poderia ser o Sul! Como as linhas de campo entram neste polo e o anel está próximo dele, existirão linhas de campo passando por dentro do anel, certo? Isto é o fluxo magnético! Ele representa a medida de quanto o campo magnético atravessa uma superfície (neste caso, o anel); em outras palavras, ele mede a quantidade de linhas de campo magnético que passam por dentro desta superfície.



Agora você pode estar pensando: “Como eu vou mensurar essa quantidade de Campo Magnético?” e “Que unidade vou usar para isto?”. Não precisa se preocupar, alguém já pensou nisso por nós! A unidade utilizada nesta medida é o weber (Wb).

$$\Phi = B.A.\cos(\theta)$$

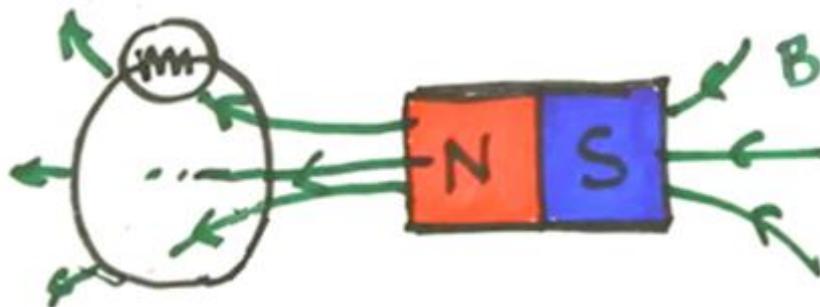
**Muito importante!** A corrente induzida em um circuito fechado tem seu sentido bem definido: ela se move de modo a originar oposição à mudança do fluxo sob a espira.

## FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA - LEI DE FARADAY

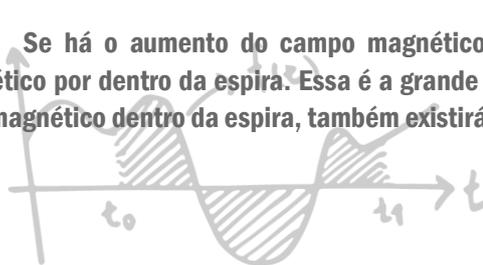
Por qual motivo estudamos o fluxo magnético? Onde e como iremos utilizar isso? Como é utilizado na “vida real”? Certamente você deve ter se perguntado alguma dessas coisas, não é? Pois então, descobriremos as respostas para todas elas através do estudo da Lei de Faraday!

Essa lei nos diz que, quando o fluxo magnético varia, surge no espaço uma força eletromotriz, originando uma corrente elétrica induzida. Este fenômeno é denominado indução eletromagnética e foi observado inicialmente por Michael Faraday.

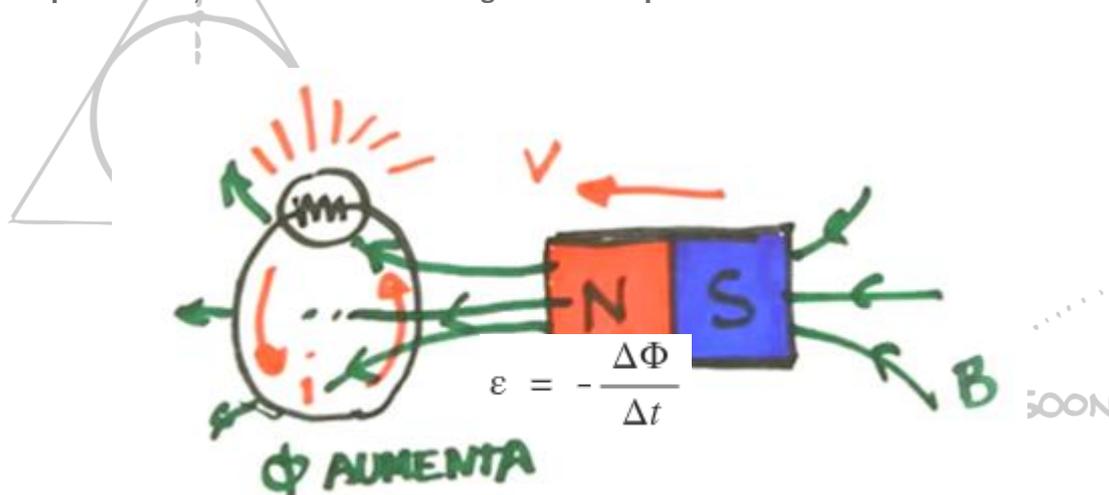
Imagine um ímã se aproximando de uma espira. Quanto mais perto desta espira, maior o campo magnético que passará por ela, certo? Parece confuso? Se liga nessa imagem aqui embaixo, ela vai ajudar!



Se há o aumento do campo magnético, isso também significa que há variação de fluxo magnético por dentro da espira. Essa é a grande sacada do problema! Além disso, se há variação de fluxo magnético dentro da espira, também existirá uma corrente nela! A Lei de Faraday nos diz isso!



Vamos resumir tudo isso! Pense que existe uma lâmpada incandescente ligada à espira; quando um ímã se aproxima da espira, ocorre uma variação do fluxo magnético dentro da espira e, conseqüentemente, uma corrente induzida é gerada e a lâmpada deve acender!



Como nada é perfeito, a Lei de Faraday não nos permite encontrar diretamente essa corrente induzida, mas nos ajuda muito nisto. Ela estabelece o valor da força eletromotriz (f.e.m.) induzida, responsável pelo surgimento desta corrente elétrica; essa força eletromotriz é dada pela variação do fluxo magnético em um determinado tempo. Podemos escrever isso matematicamente da seguinte forma:

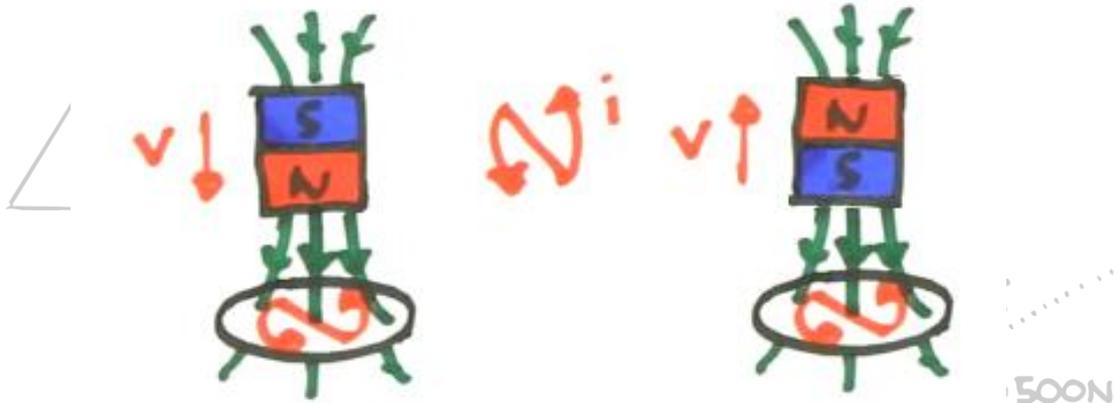
### SENTIDO DA CORRENTE INDUZIDA - LEI DE LENZ

Você pode ter ficado impressionado e pensando como Faraday conseguiu descobrir tudo isso. Mas ainda não terminou! O mais impressionante é que Faraday não determinou só a condição para o surgimento de uma corrente elétrica induzida, também determinou o sentido dessa corrente gerada. Este sentido pode ser determinado por uma regra muito simples, conhecida como Lei de Lenz, que afirma o seguinte:

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

Na prática temos um truque para isso! Basta analisar qual polo do ímã está se aproximando ou se afastando. Pense no enunciado da Lei! Como a corrente induzida sempre aparece em oposição à variação do fluxo magnético, podemos imaginar que, se aproximarmos um polo norte ou afastarmos um polo sul, a corrente será gerada no sentido “norte”. Mas espera aí, como assim no sentido norte? Isso

é um truque! Existe uma maneira específica de colocar esse norte na espira: desenhe um N, de norte, exatamente como mostra a figura abaixo; a direção da corrente será exatamente a das flechas no N.



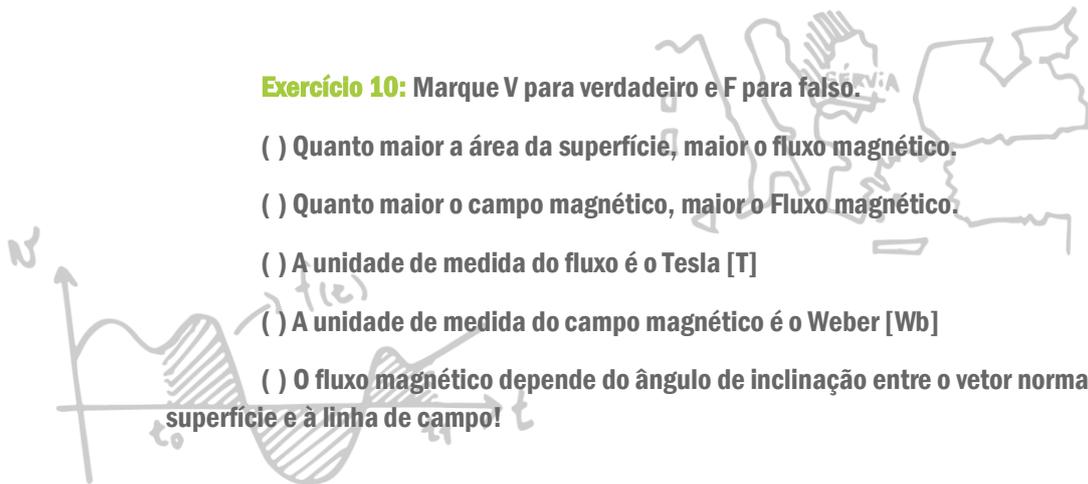
A mesma coisa acontece quando aproximamos um polo sul ou afastamos um polo norte. A corrente será gerada no sentido “sul”, como mostra a imagem abaixo!

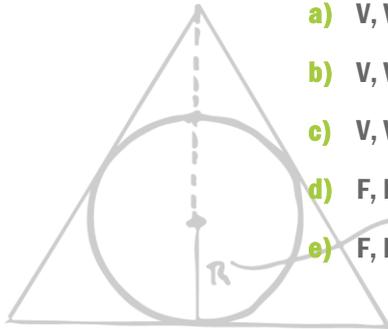


Aqui tem mais dois exercícios para você praticar o que aprendeu sobre Indução Eletromagnética:

**Exercício 10:** Marque V para verdadeiro e F para falso.

- ( ) Quanto maior a área da superfície, maior o fluxo magnético.
- ( ) Quanto maior o campo magnético, maior o Fluxo magnético.
- ( ) A unidade de medida do fluxo é o Tesla [T]
- ( ) A unidade de medida do campo magnético é o Weber [Wb]
- ( ) O fluxo magnético depende do ângulo de inclinação entre o vetor normal à superfície e à linha de campo!





- a) V, V, F, F, F
- b) V, V, V, F, F
- c) V, V, F, F, V
- d) F, F, V, V, F
- e) F, F, F, V, V

**Correta: C**

Resolução em:

Módulo: FMIE- Fluxo Magnético e Indução Eletromagnética

Lista: FMIE02EX - Exercícios de Compreensão #02



**Exercício 11:** Quando giramos uma espira de um material condutor em um campo magnético, geramos uma corrente elétrica devido:

- a) Ao movimento de rotação que causa alteração do Fluxo magnético, pois ocorre uma alteração no ângulo de incidência das linhas do campo magnético
- b) Ao movimento de rotação, que aumenta a área da superfície
- c) Ao movimento de rotação, que gera um campo magnético maior do que d) quando a espira está parada
- d) Ao momento de inércia da espira girando
- e) À força centrípeta da espira girando

**Correta: A**

Resolução em:

Módulo: FMIE- Fluxo Magnético e Indução Eletromagnética

Lista: FMIE04EX - Exercícios de Compreensão #01



## TRANSFORMADORES E LINHAS DE TRANSMISSÃO

O último tópico desta apostila são os transformadores. Certamente você já ouviu falar esse nome, mas você sabe o que exatamente é um transformador? Mais importante ainda: para o que eles servem? Antes de estudarmos isso, vamos entender o motivo pelo qual eles são tão presentes em nosso cotidiano.

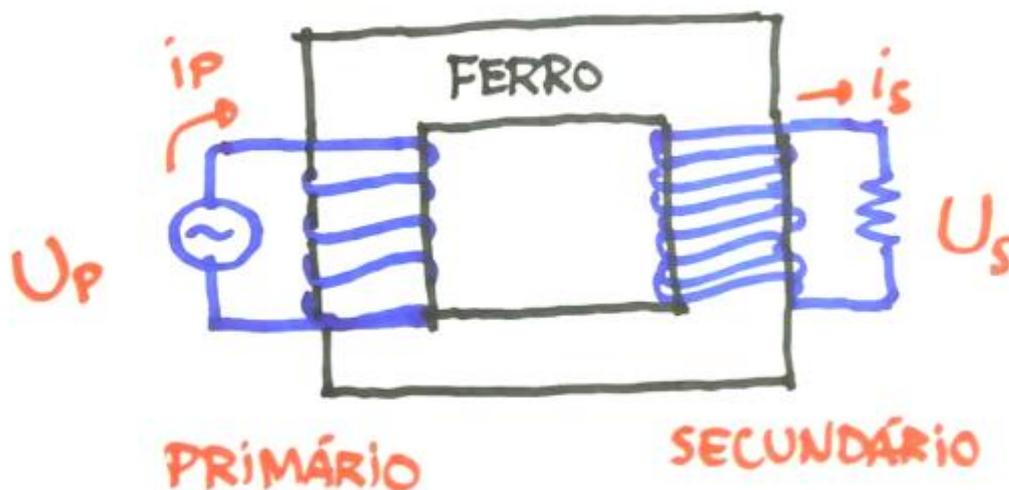
Um grande problema enfrentado pelas companhias de energia é como transportar a energia elétrica produzida de uma usina até as cidades. Obviamente a única opção é via cabos, mas isso é um

problema: muitas companhias elétricas distribuem energia para diversos estados do Brasil. Você já pensou quanta energia é perdida desde a produção até a chegada em nossas casas, seja por Efeito Joule ou por diversos outros motivos? É muita energia! Para resolver isso, foi necessário descobrir um meio de minimizar esta perda. Duas maneiras foram criadas para isso:

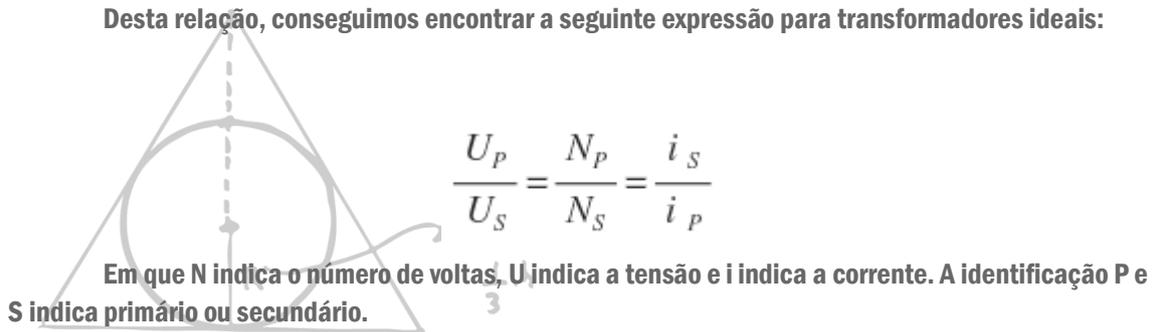
- A primeira é reduzir a resistência do fio, o que poderia ser feito trocando o fio por um de material melhor condutor, usualmente mais caro, ou por um fio mais grosso, o que tornaria os fios mais pesados e mais caros;
- A segunda é reduzir a corrente elétrica. A usina de energia produz uma certa energia por segundo, isto é, uma certa potência, de maneira que uma mesma potência pode ser transmitida usando-se uma grande corrente e uma baixa voltagem ou uma grande voltagem e uma baixa corrente.

Obviamente, a escolha das companhias foi pela opção mais barata, o aumento da voltagem nas linhas de transmissão. Contudo, existe outro um problema: por questões de segurança e design eletrônico, a voltagem entregue na casa do consumidor não deve ser muito alta. Assim, deveria existir alguma forma de diminuir a tensão ao chegar nas cidades. Aqui entra o transformador, ele é o responsável por aumentar ou reduzir essa tensão! Sabendo dessa importância, finalmente vamos entender como um transformador funciona!

Um transformador é constituído basicamente de duas bobinas enroladas em um núcleo de ferro. Em uma das bobinas, conhecida como enrolamento primário, é aplicada uma corrente elétrica alternada; esta corrente produz um fluxo magnético variável, imitando o núcleo de ferro que conduzirá o fluxo para o outro enrolamento, conhecido como enrolamento secundário. Como a corrente elétrica é alternada, o campo magnético produzido por ela será variável. Espera aí, campo magnético variável? Isto lembra a Lei de Faraday! Essa variação de campo magnético gera uma variação de fluxo magnético sobre o enrolamento secundário, que induz uma corrente elétrica em suas espiras.



Desta relação, conseguimos encontrar a seguinte expressão para transformadores ideais:



### Dicas do MeSalva! sobre os transformadores!

- ◆ Se a bobina secundária tem maior número de espiras do que a primária, a ddp de saída é maior que a de entrada; o inverso ocorre se a bobina primária tem maior número de espiras, a ddp de entrada é maior que a de saída;
- ◆ O transformador só funciona com corrente alternada!

Temos um exercício para você praticar o que aprendeu sobre Indução Eletromagnética:

**Exercício 12:** (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

**Correta: C**

Resolução em:

Módulo: TROA- Transformadores e Outras Aplicações

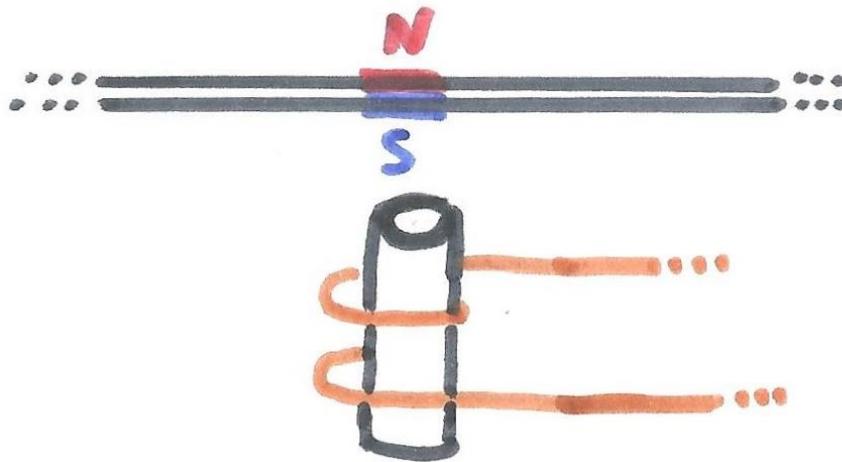
Lista: TROA02EX - Exercícios de Compreensão #01



## O ELETROMAGNETISMO NA PRÁTICA: COMO FUNCIONAM AS GUITARRAS

Com certeza você já teve contato com uma guitarra, seja tocando ou simplesmente assistindo algum show, não é mesmo? Mas alguma vez você já pensou em como as guitarras funcionam? Como aquelas cordas conseguem gerar um som maravilhoso? Ou então por que as cordas das guitarras são feitas de metal? Muito provavelmente não, certo? Pois então, mais uma vez é a Física que nos explica tudo isso!

Você pode nunca ter percebido, mas existem diversos pontinhos metálicos embaixo das cordas das guitarras, chamados de captadores magnéticos. Esses captadores são responsáveis por captar as variações do campo magnético das cordas. Mas espera aí, desde quando corda tem campo magnético? Pode ficar calmo, você já vai entender isso! Os captadores são basicamente ímãs, parecidos com esses que você tem em sua geladeira. E justamente agora entra a justificativa das cordas das guitarras serem feitas de aço: você lembra o que acontece quando aproximamos um metal de um ímã? Ele se magnetiza e também se torna um ímã! Ímãs possuem campo magnético no seu entorno, concorda?

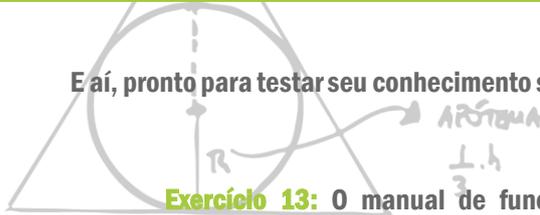


Os captadores são basicamente cilindros com espiras enroladas em seu entorno. Assim, quando uma corda for tocada, ela irá vibrar e gerar uma variação em seu campo magnético. Como estudamos na Lei de Faraday, essa variação de campo magnético irá gerar uma corrente elétrica nas espiras que envolvem os captadores. Cada nota irá gerar uma vibração diferente na corda, que é refletida no som que sai do amplificador. Sensacional, não é?

O som produzido por cada guitarra depende de várias fatores em sua construção, um deles é o número de espiras enroladas nos captadores. Guitarras como Gibson Les Paul, Fender Stratocaster ou Rickenbacker se tornaram tão famosas justamente por isso, cada uma possui um número de espiras diferentes e, conseqüentemente, um som muito característico.



**Faça o teste! Experimente tocar a guitarra com uma moeda em vez de usar uma palheta, você vai sentir a força gerada pelo campo magnético!**



**Exercício 13:** O manual de funcionamento de um captador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto:

Esse captador comum consiste de uma bobina, fios condutores enrolados em torno de um ímã permanente. O campo magnético do ímã induz o ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra, que está próxima a ele. Assim, quando a corda é tocada, as oscilações produzem variações, com o mesmo padrão, no fluxo magnético que atravessa a bobina. Isso induz uma corrente elétrica na bobina, que é transmitida até o amplificador e, daí, para o alto-falante.

Um guitarrista trocou as cordas originais de sua guitarra, que eram feitas de aço, por outras feitas de náilon. Com o uso dessas cordas, o amplificador ligado ao instrumento não emitia mais som, porque a corda de náilon:

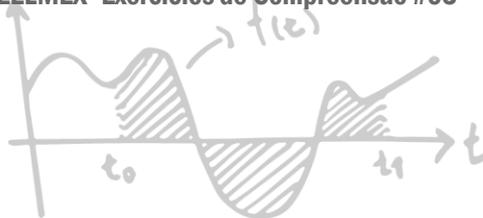
- isola a passagem de corrente elétrica da bobina para o alto-falante.
- varia seu comprimento mais intensamente do que ocorre com o aço.
- apresenta uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente.
- induz correntes elétricas mais intensas na bobina que a capacidade do captador.
- oscila com uma frequência menor do que a que pode ser percebida pelo captador.

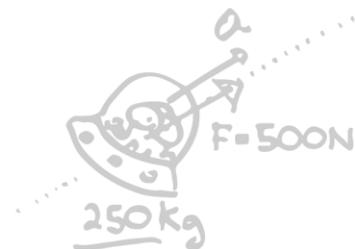
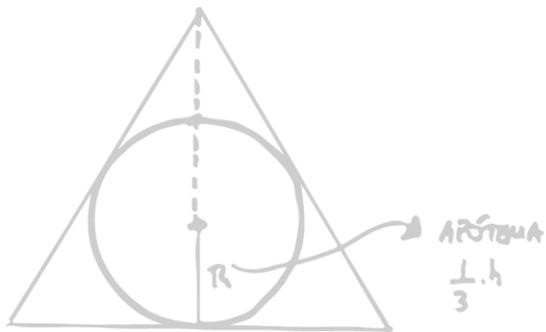
**Correta: C**

Resolução em:

Módulo: EELM- Exercícios de Eletromagnetismo

Lista: EELMEX- Exercícios de Compreensão #03





**CONCLUSÃO**

Tenho certeza que agora você consegue perceber a importância do eletromagnetismo em nossas vidas! Mas sabe qual é a parte mais legal? Tendo consciência disso você pode entender o funcionamento de muita coisa! Lembre-se de revisar os conceitos, eles são essenciais para você entender o que foi estudado!

Agora que terminamos o estudo completo da Eletricidade, em nossa próxima apostila começaremos a entender algo muito interessante, o Calor! Esperamos por você lá!

