

CAPÍTULO 34

CAMPO MAGNÉTICO

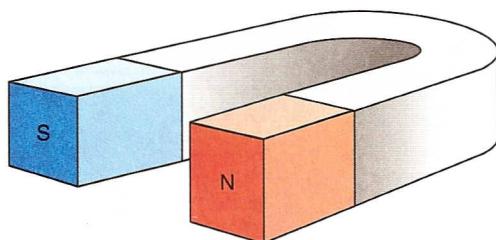
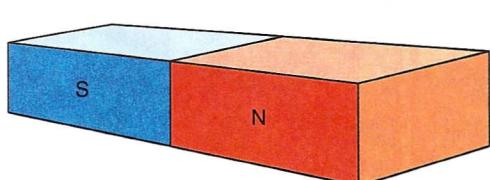
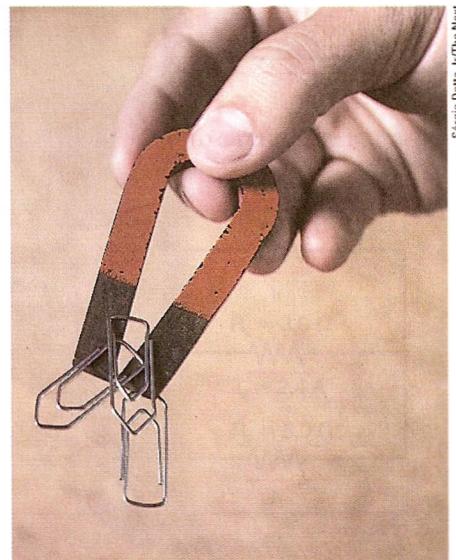
INTRODUÇÃO

Os fenômenos magnéticos são conhecidos desde a Antigüidade. Naquela época já se utilizavam certas pedras — que tinham a propriedade de atrair pedaços de ferro — na orientação da rota de grandes viagens.

O vocábulo *magnetismo* é devido a uma região chamada Magnésia, localizada na Turquia, local em que essas pedras foram encontradas. Quando suspensas por seus centros de massa, tais pedras orientavam-se sempre no sentido norte-sul. Eram constituídas de óxido de ferro e denominadas magnetita. Atualmente recebem o nome genérico de *ímã natural*. Só mais tarde se descobriu a possibilidade de fabricar *ímãs artificiais*.

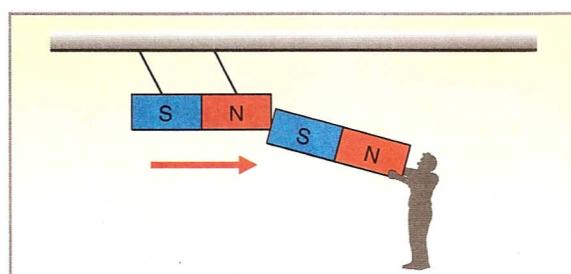
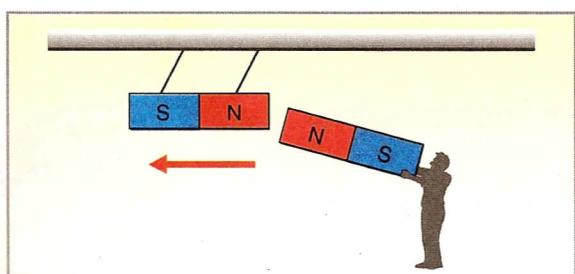
Os ímãs artificiais são, normalmente, barras de ferro ou aço às quais se transmite a propriedade magnética. Eles levam vantagem sobre os ímãs naturais por terem maior poder atrativo e também porque podem receber a forma mais conveniente ao seu uso.

Todo ímã apresenta duas regiões distintas, denominadas pólos, que possuem comportamentos opostos: polo norte e polo sul.



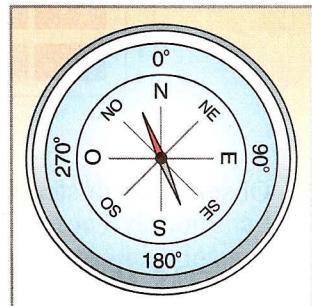
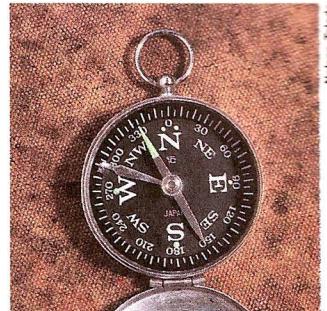
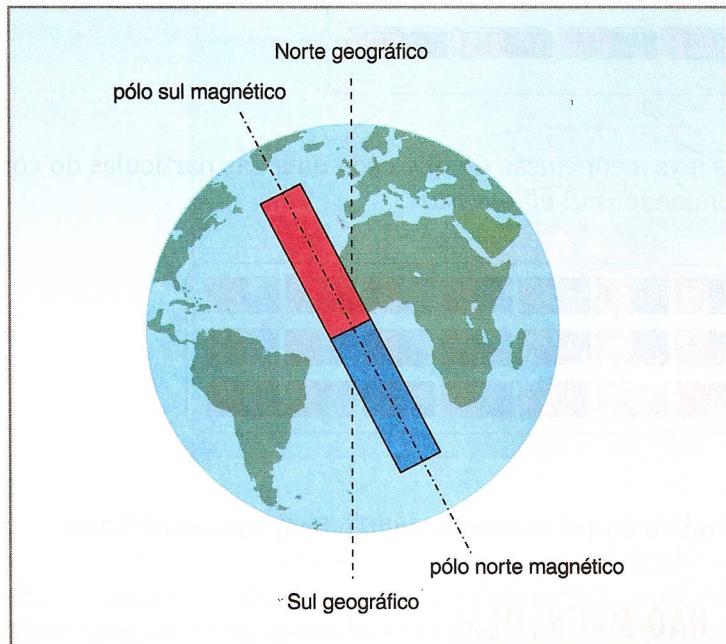
A experiência comprova a seguinte propriedade básica do magnetismo:

Pólos magnéticos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem.



Um exemplo dessa propriedade é a bússola, que foi inventada pelos chineses. Constitui-se de um pequeno ímã em forma de losango, denominado agulha magnética, com possibilidade de girar em torno do seu centro de massa.

Verifica-se que um dos pólos aponta, aproximadamente, para o Norte geográfico e o outro, para o Sul geográfico.



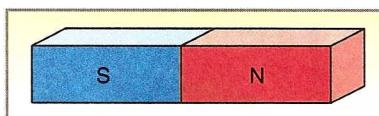
Isso ocorre porque a Terra se comporta como um enorme ímã, cujo polo norte magnético está situado nas proximidades do polo Sul geográfico e vice-versa.

Chamamos de polo norte da agulha magnética à extremidade que aponta para o Norte geográfico, pois é atraída pelo polo sul magnético. O outro é chamado polo sul da agulha magnética.

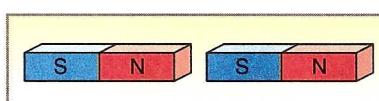
INSEPARABILIDADE DOS PÓLOS

Experimentalmente, pode-se verificar também que um único polo não pode existir isoladamente.

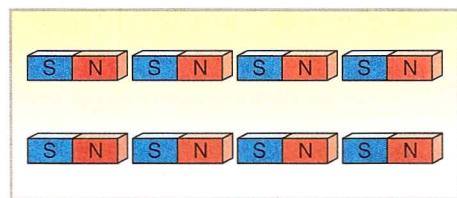
Imagine um ímã em forma de barra com seus pólos norte e sul.



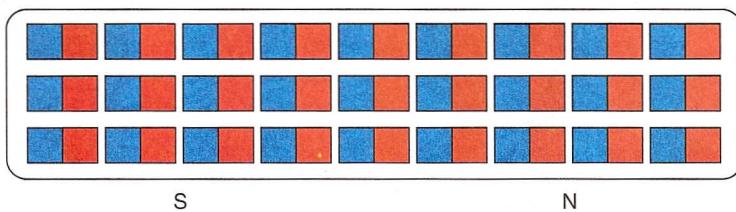
Se o seccionarmos ao meio, surgirão novos pólos norte e sul em cada um dos pedaços, constituindo cada um deles um novo ímã.



Se continuarmos com essa experiência de divisão de cada ímã em dois outros, obteremos ímãs cada vez menores, até que atinjam dimensões elementares.



Essa linha de raciocínio nos leva à conclusão de que cada uma das partículas do corpo anterior é um pequeno ímã, denominado *ímã elementar*.

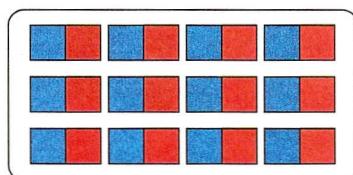


Observe, na ilustração, por que o corpo se mantém como ímã, mesmo dividido.

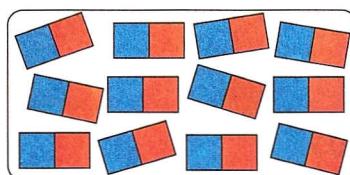
SUBSTÂNCIAS MAGNÉTICAS E NÃO-MAGNÉTICAS

Dizemos que um corpo apresenta propriedades magnéticas quando há uma predominância de ímãs orientados sobre os demais.

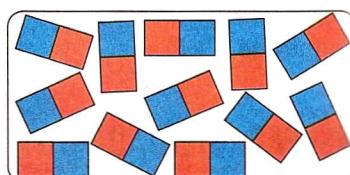
Podem-se distinguir três casos:



corpo fortemente imantado



corpo fracamente imantado



corpo não-imantado

Denominam-se substâncias magnéticas aquelas que permitem a orientação de seus ímãs elementares.

Exemplos: ferro, níquel e algumas ligas metálicas — como o aço.

As substâncias não-magnéticas são aquelas que não permitem a orientação de seus ímãs elementares.

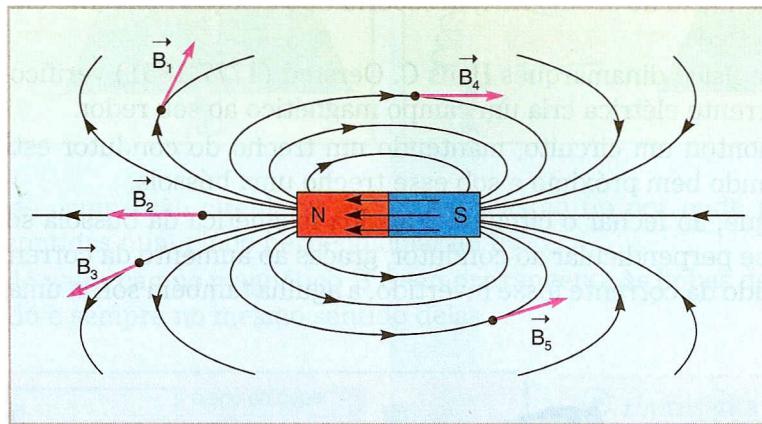
Exemplos: alumínio, madeira, plástico etc.



CAMPO MAGNÉTICO

Analogamente ao campo elétrico, denomina-se *campo magnético* a região ao redor de um ímã na qual ocorre um efeito magnético.

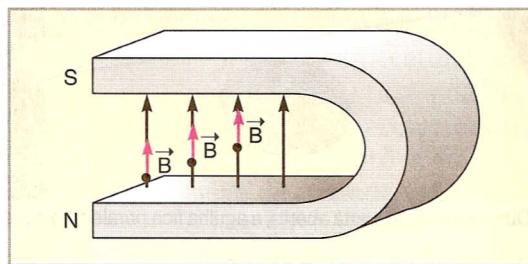
A sua representação é feita através de *linhas de campo* ou *linhas de indução*, que são linhas imaginárias fechadas que saem do pólo norte e entram no pólo sul.



No interior do ímã, as linhas de campo vão do pólo sul para o pólo norte.

Cada ponto de um campo magnético é caracterizado por um vetor \vec{B} denominado *vetor indução magnética* ou *vetor campo magnético*, sempre tangente às linhas de campo e no mesmo sentido delas. A sua intensidade será definida mais adiante.

Diz-se que um campo magnético é uniforme quando o vetor campo magnético é constante em todos os pontos do campo. Nesse caso, sua representação é um conjunto de linhas paralelas igualmente espaçadas e igualmente orientadas.

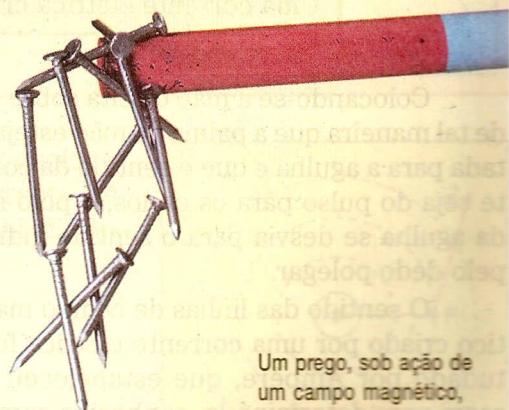


INDUÇÃO MAGNÉTICA

Um prego de ferro é, normalmente, um corpo não-imantado. Porém, quando ele é colocado na presença de um ímã, o vetor campo magnético do campo criado por esse ímã orienta os ímãs elementares do prego, imantando-o e fazendo com que o prego seja atraído.

Dessa forma, o prego torna-se também um ímã, sendo capaz, portanto, de atrair outros pregos através da repetição do mesmo fenômeno.

Denomina-se indução magnética o fenômeno da imantação de um corpo por meio de um ímã.



Um prego, sob ação de um campo magnético, atrai outros pregos.

As substâncias cujos ímãs elementares se orientam facilmente quando submetidos à ação de um campo magnético são denominadas substâncias *ferromagnéticas*.

Exemplos: ferro, níquel, cobalto e algumas ligas metálicas.

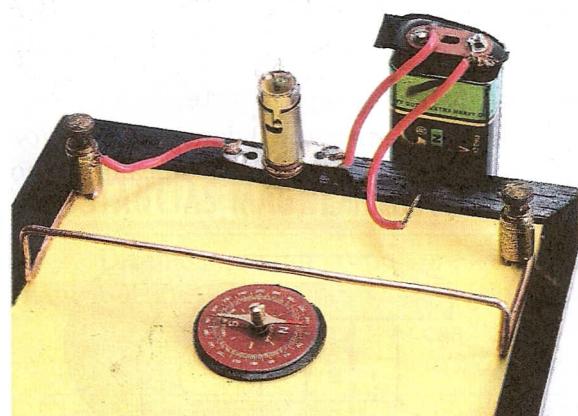
CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR CORRENTE ELÉTRICA NUM FIO RETILÍNEO

Somente no início do século XIX, descobriu-se a relação existente entre os fenômenos elétricos e magnéticos.

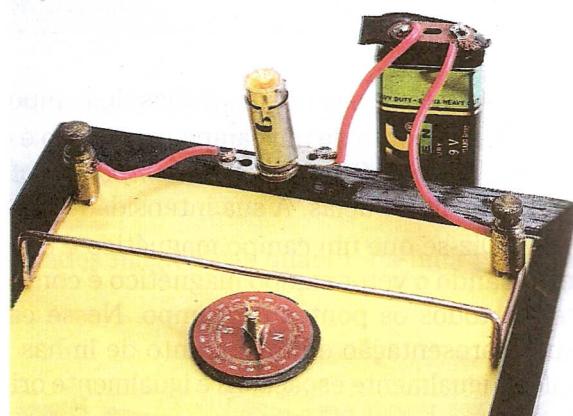
Em 1820, o físico dinamarquês Hans C. Oersted (1777-1851) verificou, experimentalmente, que a corrente elétrica cria um campo magnético ao seu redor.

Oersted montou um circuito, mantendo um trecho do condutor esticado na direção norte-sul, colocando bem próximo e sob esse trecho uma bússola.

Verificou que, ao fechar o circuito, a agulha magnética da bússola sofria um desvio e permanecia quase perpendicular ao condutor, graças ao aumento da corrente. Verificou ainda que, se o sentido da corrente fosse invertido, a agulha também sofria uma inversão em seu sentido.



Quando o circuito está aberto, a agulha fica paralela ao condutor.



Fechando-se o circuito, a agulha sofre um desvio.

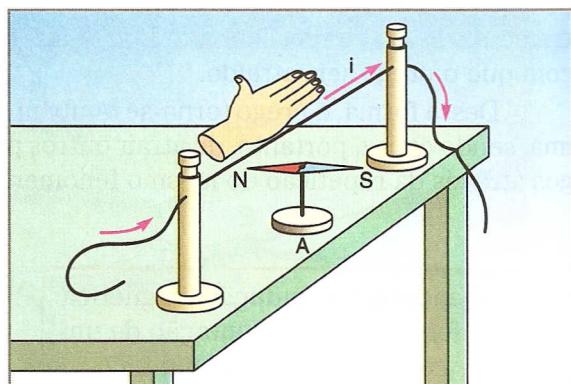
Fonte: Baggio, Bruno. At The Moon

Da experiência, Oersted conclui que:

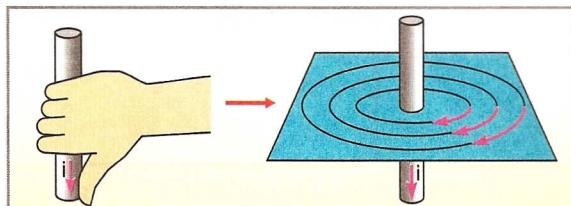
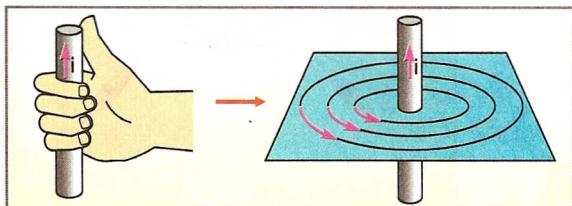
Uma corrente elétrica cria ao seu redor um campo magnético.

Colocando-se a mão direita sobre o fio, de tal maneira que a palma da mão esteja voltada para a agulha e que o sentido da corrente seja do pulso para os dedos, o polo norte da agulha se desvia para o sentido indicado pelo dedo polegar.

O sentido das linhas de campo magnético criado por uma corrente elétrica foi estudado por Ampère, que estabeleceu uma regra para determiná-lo, conhecida como *regra da mão direita*.

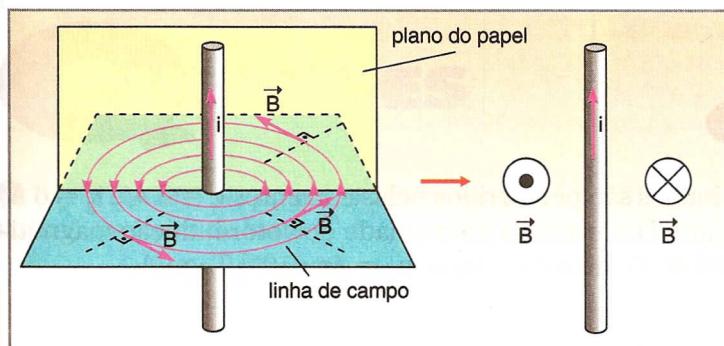


Segure o condutor com a mão direita, envolvendo-o com os dedos e mantendo o polegar apontando o sentido da corrente. O sentido das linhas de campo é dado pela indicação dos dedos que envolvem o condutor.



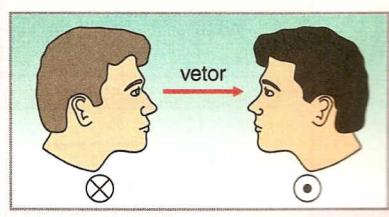
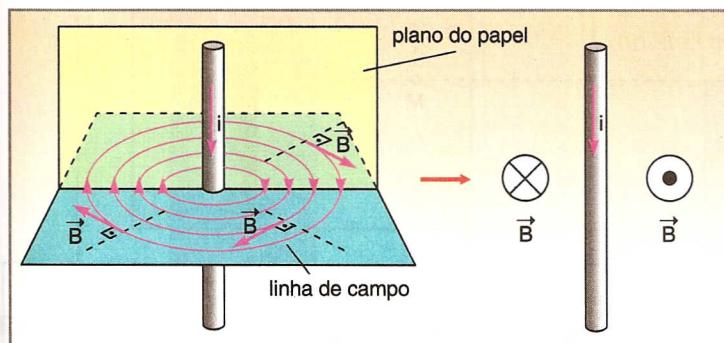
As linhas de campo são circulares e concêntricas ao fio por onde passa a corrente elétrica e estão contidas num plano perpendicular ao fio.

A direção do vetor campo magnético \vec{B} é sempre tangente às linhas de campo em cada ponto considerado e sempre no mesmo sentido delas.



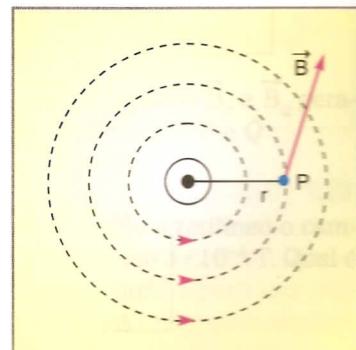
○ representa um vetor (campo magnético, corrente, força) perpendicular ao plano da folha de papel e orientado para fora, isto é, em posição de saída (aproximando-se do observador).

⊗ representa um vetor perpendicular ao plano da folha de papel e orientado para dentro, isto é, em posição de entrada (afastando-se do observador).



A intensidade do vetor campo magnético em qualquer ponto do campo é proporcional à intensidade da corrente elétrica que passa pelo fio e inversamente proporcional à distância desse ponto ao fio. Sua expressão é:

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



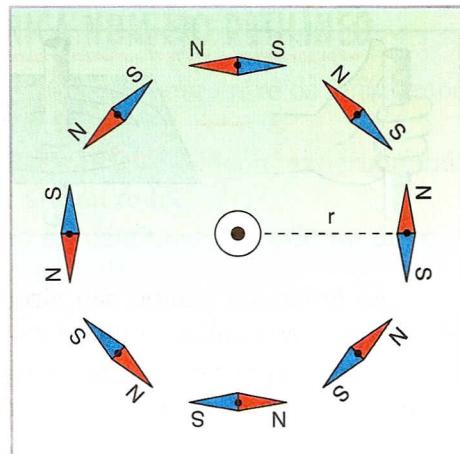
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

(permeabilidade magnética do vácuo)

r = distância do ponto P ao fio.

A unidade de \vec{B} no Sistema Internacional é o *tesla* (T).

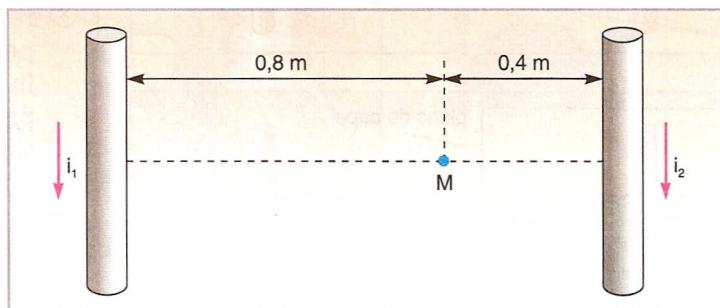
A bússola (agulha imantada) indica a direção e o sentido do vetor campo magnético \vec{B} .



APLICAÇÃO

A1

Dois fios metálicos e longos são percorridos pelas correntes $i_1 = 2 \text{ A}$ e $i_2 = 6 \text{ A}$, conforme indica a figura. Determine a intensidade do vetor indução magnética resultante no ponto M . O meio é o vácuo: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.



Resolução:

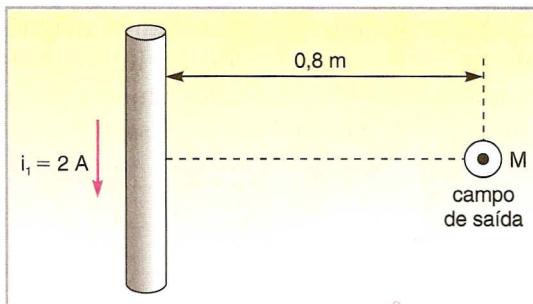
Pela regra da mão direita, determinamos o sentido dos vetores \vec{B}_1 e \vec{B}_2 no ponto M .

Intensidade de \vec{B}_1 :

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

$$B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{2}{0,8}$$

$$B_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

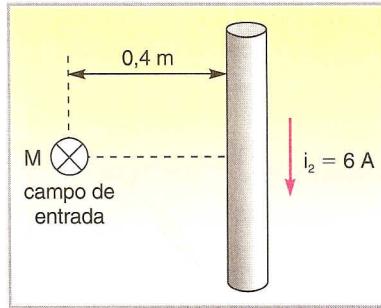


Intensidade de \vec{B}_2 :

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

$$B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{6}{0,4}$$

$$B_2 = 30 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$



O vetor resultante em M é dado pela soma: $\vec{B}_R = \vec{B}_2 + \vec{B}_1$.

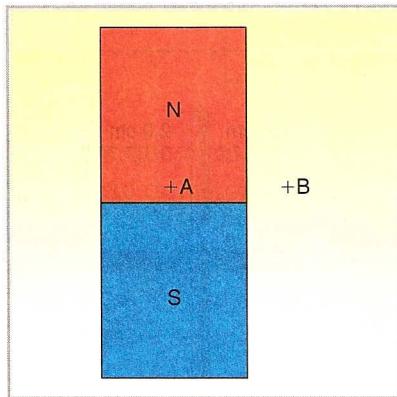
Como são de sentidos opostos, vem:

$$B_R = B_2 - B_1 \rightarrow B_R = 30 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-7} \rightarrow B_R = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Resposta: $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

QUESTÕES

Q1 (FMTM-MG) Na figura está representado um ímã em forma de barra.



Represente graficamente ou descreva a direção e o sentido do campo magnético nos pontos:

- A (no interior do ímã)
- B

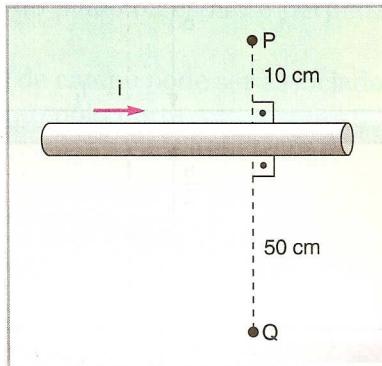
Q2 Leia atentamente as afirmativas que seguem:

- O Pólo Norte geográfico é um pólo sul magnético.
- Em um ímã permanente, as linhas de indução saem do pólo norte e vão para o pólo sul, independentemente de estarem na parte interna ou externa do ímã.

III. Considerando a agulha de uma bússola, a extremidade que aponta para o Norte geográfico é o pólo norte magnético da agulha.

Quais afirmativas são corretas?

Q3 Um fio retilíneo e longo é percorrido por uma corrente elétrica contínua $i = 2 \text{ A}$, no sentido indicado pela figura.

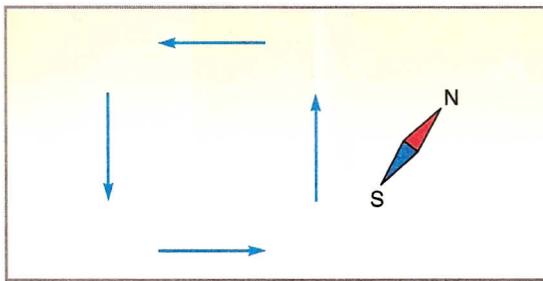


Determine os campos magnéticos \vec{B}_P e \vec{B}_Q gerados por essa corrente nos pontos P e Q .

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

Q4 A 40 cm de um fio longo e retilíneo o campo magnético tem intensidade $4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$. Qual é a corrente que percorre o fio? Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

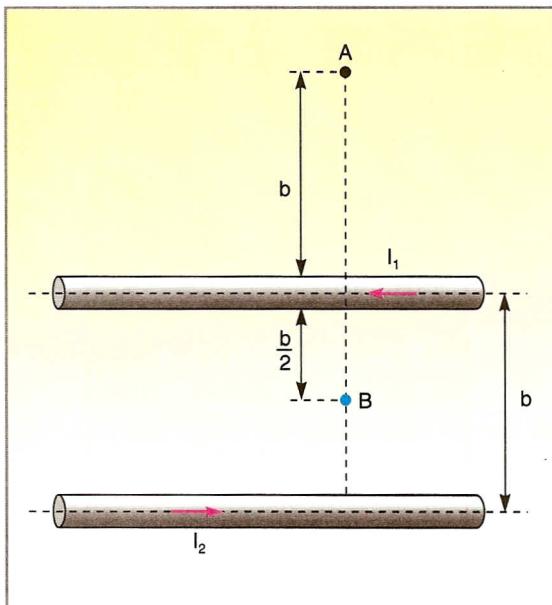
Q5 (Fuvest-SP) A figura indica quatro bússolas que se encontram próximas a um fio condutor, percorrido por uma intensa corrente elétrica.



- Represente, na figura, a posição do condutor e o sentido da corrente.
- Caso a corrente cesse de fluir, qual será a configuração das bússolas? Faça a figura correspondente.

Q6 (EFEI-MG) Dois fios condutores, dispostos paralelamente, estão separados um do outro pela distância $b = 10,0\text{ cm}$. Por eles passam as correntes I_1 e I_2 que valem, respectivamente, $0,50\text{ A}$ e $1,00\text{ A}$, em sentidos opostos, conforme a figura. Determine os vetores indução magnética \vec{B} nos pontos A e B .

Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N/A}^2$.

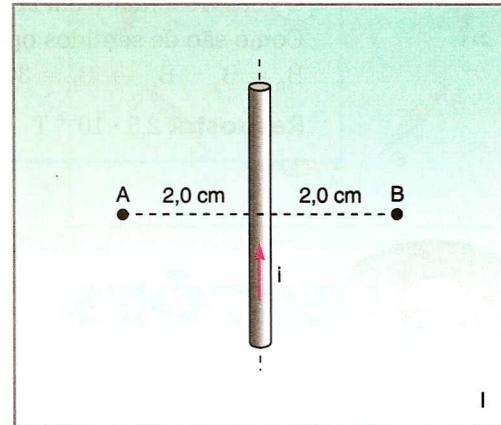


Q7 (Vunesp-SP) Uma corrente elétrica i constante atravessa um fio comprido e retilíneo, no sentido indicado na figura I, criando, a seu redor, um campo magnético. O módulo do vetor indução magnética em cada um dos pontos A e

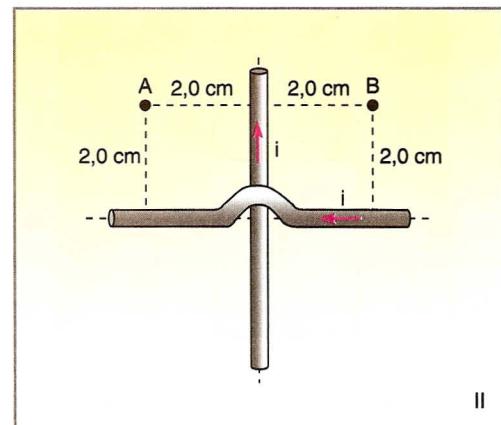
B de uma reta perpendicular ao fio e distantes $2,0\text{ cm}$ do mesmo é igual a $4,0 \cdot 10^{-4}\text{ T}$. Considere, agora, outro fio, também comprido e retilíneo, distante $2,0\text{ cm}$ tanto de A como de B , cruzando com o primeiro, mas sem tocá-lo. Os dois fios e os pontos A e B estão praticamente no mesmo plano, como mostra a figura II.

Se a corrente que atravessa o segundo fio, no sentido indicado na figura, também é i , qual será o módulo do vetor indução magnética resultante:

- no ponto A ?



- no ponto B ?



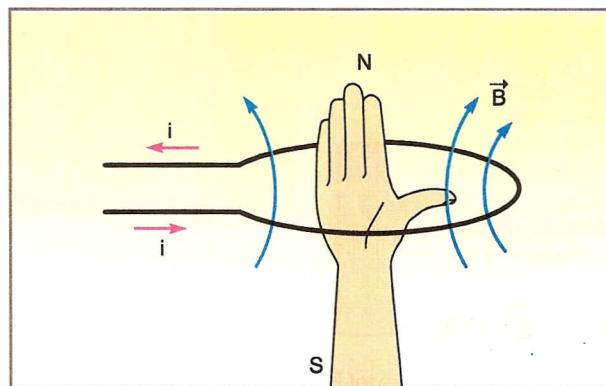
Q8 (EFOA-MG) Um explorador está nas vizinhanças do Pólo Norte geográfico, junto a um dos pólos magnéticos da Terra.

- Descreva (ou desenhe) as linhas do campo magnético terrestre nessa região, indicando a direção e o sentido dessas linhas em relação à superfície terrestre.
- Uma bússola magnética seria útil para a orientação do explorador nessa região? Justifique.

- I) O que são substâncias paramagnéticas e diamagnéticas? Dê exemplos.
- II) O que são ímãs permanentes e ímãs transitórios? Dê exemplos.
- III) Qual a influência da temperatura sobre a imantação?
- IV) O que ocorre se colocarmos um ímã sobre uma fita magnética?

CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR UMA ESPIRA CIRCULAR

No caso de uma espira circular percorrida por uma corrente, também se pode utilizar a regra da mão direita para determinar o sentido das linhas de campo.

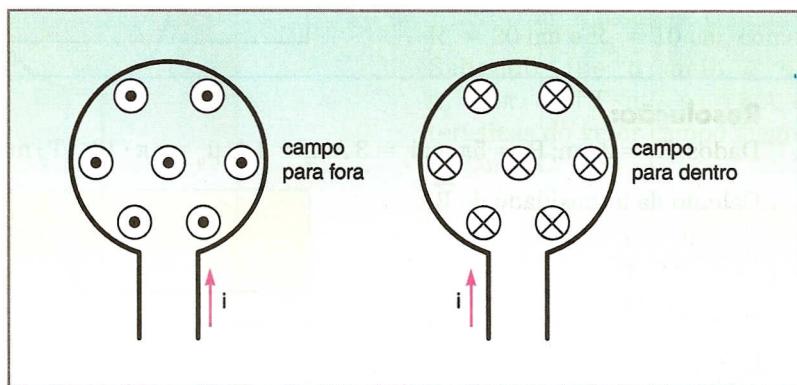


Observe que as linhas de campo entram por um lado e saem pelo outro.

A direção do vetor campo magnético nos pontos do plano da espira é perpendicular a esse plano.

Na espira circular, o lado em que entram as linhas de campo pode ser associado ao polo sul, e o lado em que saem as linhas pode ser associado ao polo norte.

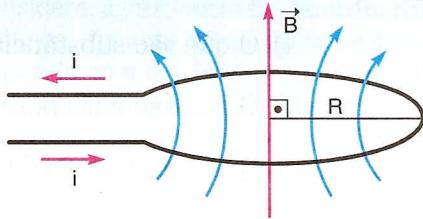
As figuras a seguir ilustram esse fato.



Representação de um campo magnético originado por uma corrente que passa por uma espira no plano do papel.

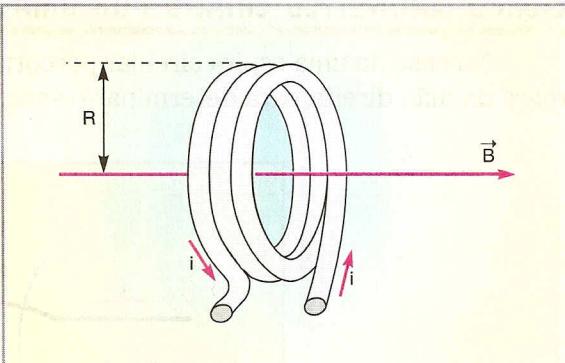
A intensidade do vetor indução magnética no centro de uma espira circular de raio R é dada pela expressão:

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



Quando tivermos N espiras circulares e iguais justapostas (bobina chata), o campo será N vezes mais intenso.

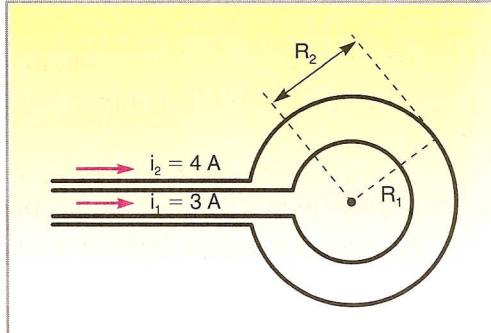
$$B = N \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R}$$



APLICAÇÃO

A2

Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios 3π m e 5π m, são percorridas por correntes de 3 A e 4 A, como mostra a figura. Determine a intensidade do vetor indução magnética no centro das espiras.



Resolução:

Dados: $R_1 = 2\pi$ m; $R_2 = 5\pi$ m; $i_1 = 3$ A; $i_2 = 4$ A; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T · m/A

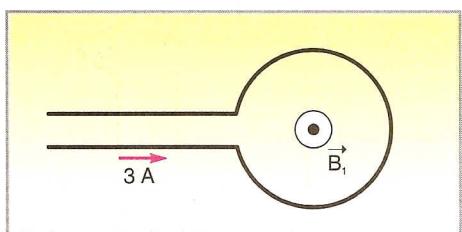
Cálculo da intensidade de \vec{B}_1 :

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i_1}{R_1}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot \frac{3}{2\pi}$$

$$B_1 = 3 \cdot 10^{-7}$$

\vec{B}_1 é campo de saída.

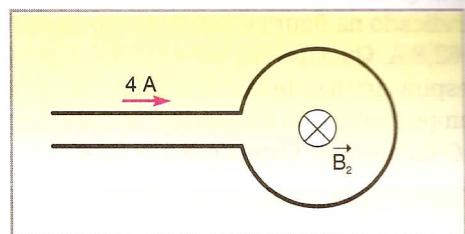


Cálculo da intensidade de \vec{B}_2 :

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i_2}{R_2}$$

$$B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot \frac{4}{5\pi}$$

$$B_2 = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$



Cálculo da intensidade do vetor indução magnética resultante:

$$\vec{B}_R = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \rightarrow B_R = B_1 - B_2 \rightarrow B_R = 3 \cdot 10^{-7} - 1,6 \cdot 10^{-7} \rightarrow B_R = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

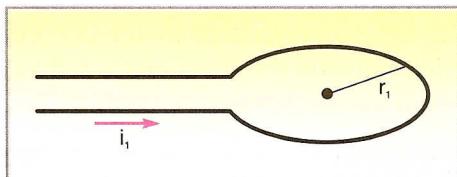
O vetor indução magnética resultante é de saída: $\vec{B}_R \odot$.

Resposta: $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ T}$

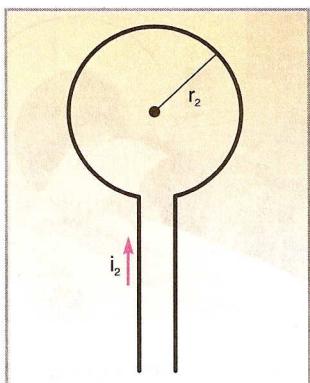
QUESTÕES

Q9 Determine as características (intensidade, direção e sentido) do campo de indução magnética criado no centro de cada espira. Considere $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

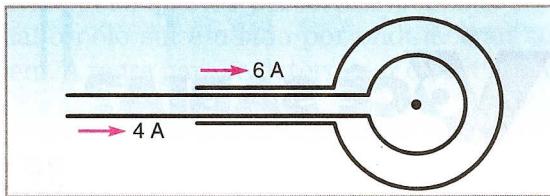
a) Dados: $i_1 = 4 \text{ A}$; $r_1 = 50 \text{ cm}$



b) Dados: $i_2 = 3 \text{ A}$; $r_2 = 10 \text{ cm}$



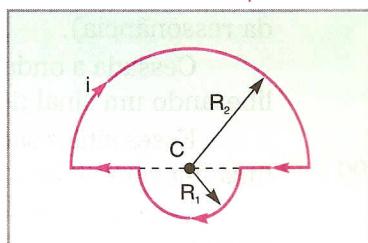
Q10 Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios $4\pi \text{ m}$ e $5\pi \text{ m}$, são percorridas por correntes de 4 A e 6 A , como mostra a figura a seguir.



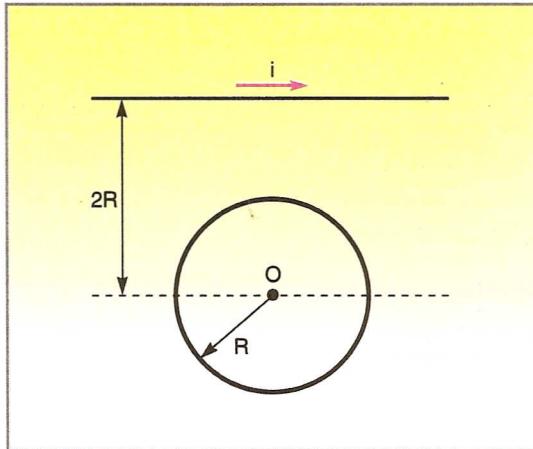
Determine a intensidade do vetor campo magnético resultante no centro das espiras. Considere $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

Q11 Uma bobina chata é formada de 100 espiras circulares de raio $0,2 \text{ m}$. Sabendo que as espiras são percorridas por uma corrente de 8 A , determine a intensidade do vetor campo magnético no seu centro. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

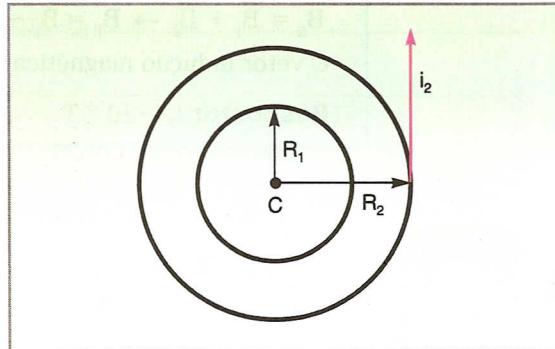
Q12 Considere o circuito fechado de raios $R_1 = 20 \text{ cm}$ e $R_2 = 10 \text{ cm}$, como indica a figura. Sabendo que o meio é o vácuo, onde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ e $i = 8 \text{ A}$, calcule as características do vetor campo magnético resultante no ponto C.



Q13 (FEI-SP) O condutor retilíneo muito longo indicado na figura é percorrido pela corrente $i = 62,8 \text{ A}$. Qual deverá ser o valor da corrente i' na espira circular de raio R , a fim de que seja nulo o campo de indução magnética resultante no centro O da mesma? Considere $\pi = 3,14$.



Q14 (UFMS) Duas espiras circulares, de mesmo centro C , possuem raios $R_1 = 4,0 \text{ cm}$ e $R_2 = 12 \text{ cm}$ (veja a figura). A espira de raio R_2 é percorrida por uma corrente $i_2 = 30 \text{ A}$ no sentido mostrado na figura. A qual deve ser a intensidade da corrente i_1 , de sentido contrário ao da corrente i_2 , que deverá percorrer a espira de raio R_1 para que o campo magnético resultante criado pelas duas espiras no ponto C seja nulo?



VOCÊ SABIA?

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

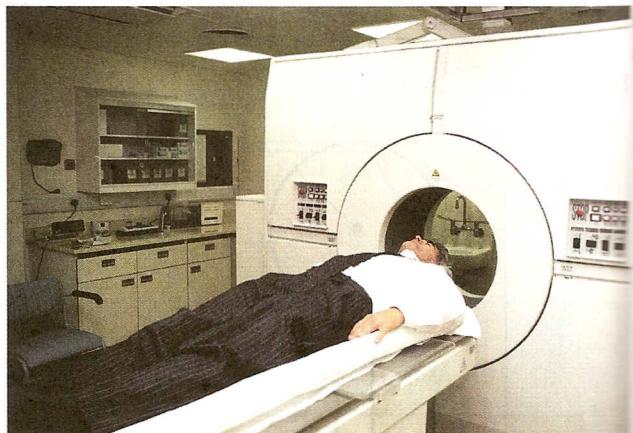
A ressonância magnética é um método de construir imagens do corpo humano a partir de sinais emitidos pelos núcleos dos átomos de hidrogênio presentes nas moléculas de água do corpo.

O paciente é colocado dentro de um grande campo magnético, que alinha todos os núcleos de seus átomos de hidrogênio como se fossem ponteiros de uma bússola. Em seguida, emite-se uma onda de radiofrequência específica que faz os átomos de hidrogênio atingirem um estado de excitação (fenômeno da ressonância).

Cessada a onda, o núcleo volta a ficar alinhado com o campo magnético, liberando um sinal de relaxamento.

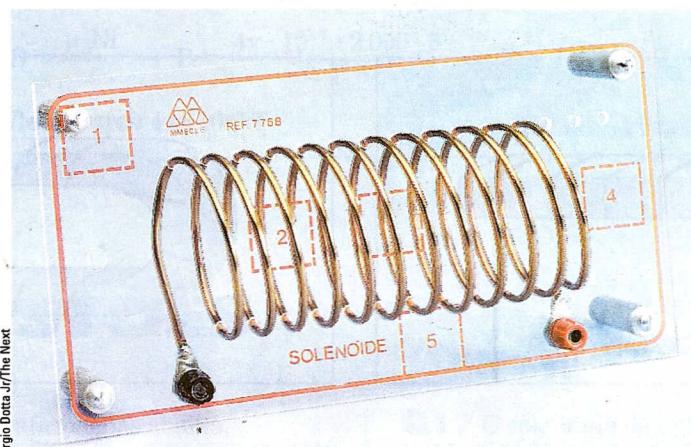
Esses sinais são captados por bobinas (antenas) e, a partir deles, é feita uma imagem no computador.

Esse método permite que se façam imagens de qualquer parte do corpo humano.



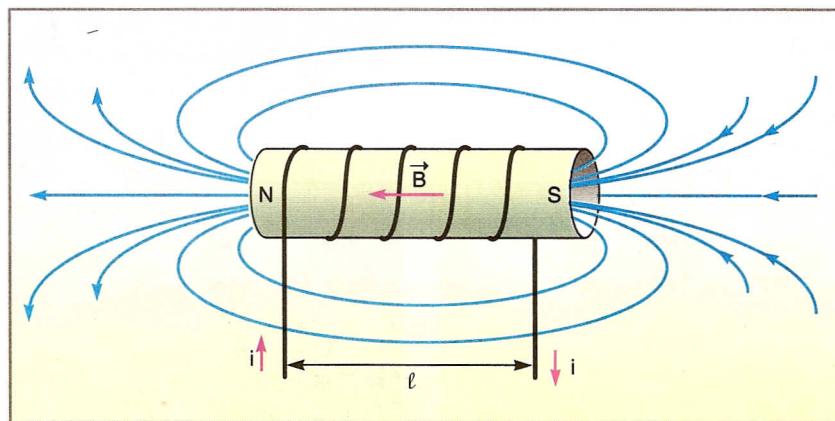
CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR UM SOLENÓIDE

O solenóide é um dispositivo constituído de um fio condutor enrolado em forma de espiras não-justapostas. Recebe também o nome de bobina longa.



Solenóide

Esse aparelho possui larga aplicação industrial, pois, quando percorrido por uma corrente elétrica, se comporta como um ímã, no qual o pólo sul é o lado por onde entram as linhas de campo e o pólo norte, o lado por onde saem. A regra para se determinar o sentido do campo é a mesma regra da mão direita.



A intensidade do vetor indução magnética no interior de um solenóide é dada pela expressão:

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

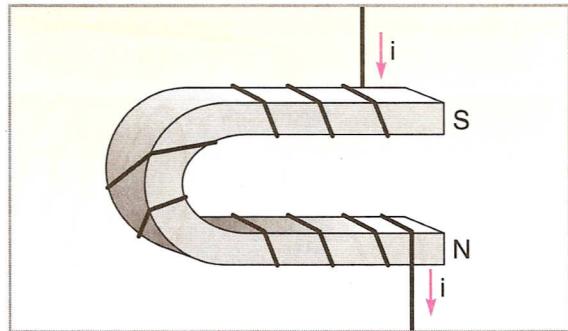
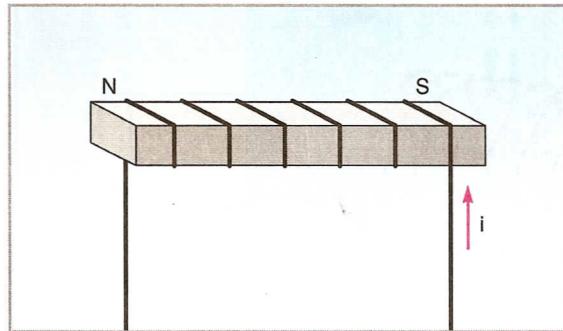
N é o número de espiras no comprimento l do solenóide.

Essa expressão é válida para qualquer ponto no interior de um solenóide, pois nessa região o campo magnético é uniforme.

A direção do campo magnético é perpendicular ao plano das espiras.

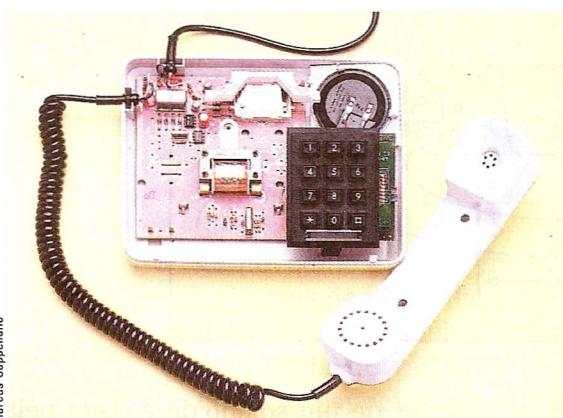
A propriedade do ferro macio (ferro aquecido e esfriado lentamente) de magnetizar-se sob a influência das correntes elétricas e perder sua magnetização logo que essa influência cesse, tornou possível a fabricação de ímãs artificiais, intermitentes, chamados *eletroímãs*.

O eletroímã é um dispositivo constituído por uma barra de ferro envolvida por um solenóide.



A passagem de uma corrente elétrica pelo fio origina um campo magnético no solenóide causando uma orientação dos ímãs elementares da barra de ferro, imantando-a.

A aplicação dos eletroímãs na indústria é bastante grande, sendo utilizados nas campanhas, nos telefones e em guindastes de alta capacidade, notadamente na indústria de construção naval.



Marcus Cappellano



Sérgio Dotta Jr/The Next

APLICAÇÃO

APPLICAÇÃO 3

É dado um solenóide retilíneo de comprimento 100 cm que contém 2 000 espiras e é percorrido por uma corrente de intensidade 5 A. Sendo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ a permeabilidade no vácuo, determine a intensidade do vetor indução magnética na região central do solenóide.

Resolução:

Dados: $\ell = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$, $N = 2\,000$ espiras, $i = 5 \text{ A}$
e $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$

A intensidade do vetor indução magnética no centro do solenóide é dada por:

$$B = \frac{\mu_0 N i}{\ell} \rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2\,000 \cdot 5}{1} \rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

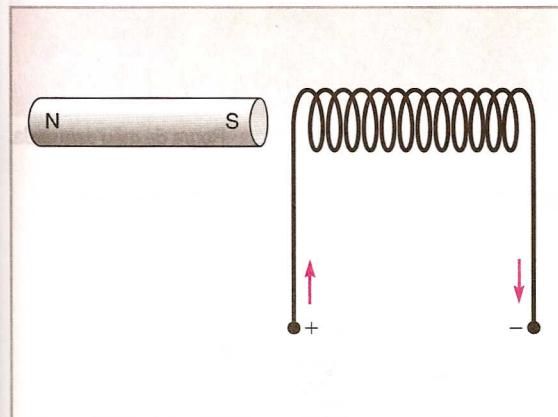
Resposta: $4\pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$

QUESTÕES

Q15 Considere as afirmações abaixo.

- I. O campo magnético no interior de um solenóide longo com n espiras por metro é constante.
 - II. O voltímetro ideal tem resistência infinita.
 - III. O amperímetro ideal tem resistência nula.
 - IV. Em um capacitor, a diferença de potencial é diretamente proporcional à carga.
- Quais afirmações são corretas?

Q16 Na figura a seguir temos um ímã em forma de barra e um longo solenóide percorrido por corrente contínua.

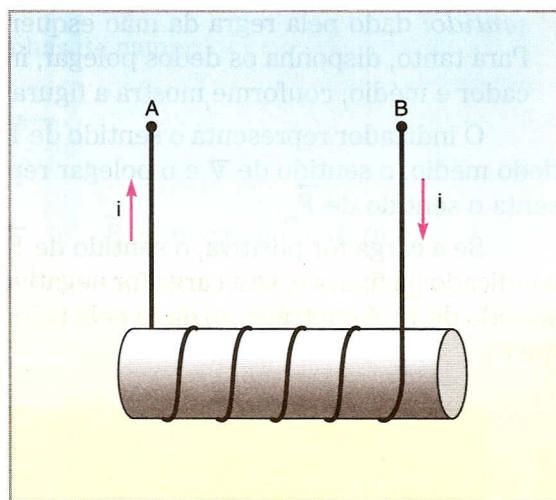


Sobre eles, são feitas as seguintes afirmativas:

- I. Entre o ímã e o solenóide ocorre atração.
 - II. Nos pontos internos do solenóide, as linhas de indução do campo magnético são retas paralelas ao eixo do solenóide.
 - III. O campo magnético no interior do solenóide é nulo.
- Quais afirmativas são verdadeiras?

Q17 O solenóide da figura, imerso no vácuo, é formado por 12 espiras e tem comprimento 20 cm.

Calcule o módulo, a direção e o sentido do vetor indução magnética no interior desse solenóide, sabendo que $i = 6 \text{ A}$. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.



Q18 Um solenóide de 1 000 espiras por metro é percorrido por uma corrente de intensidade i . Sabendo que o vetor indução magnética no seu interior tem intensidade $8\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, determine i .

Q19 No interior de um solenóide de comprimento 16 cm, registra-se um campo de indução magnética de intensidade $5\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, quando ele é percorrido por uma corrente de 8 A. Quantas espiras tem esse solenóide?

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

FORÇA MAGNÉTICA

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CARGAS ELÉTRICAS

As experiências revelaram que uma carga elétrica, quando submetida à ação de um campo magnético, pode sofrer a ação de uma força magnética, também chamada força de Lorentz.

Para determinar as características dessa força, consideremos uma carga elétrica q lançada dentro de um campo magnético uniforme, com velocidade vetorial \vec{v} , formando um ângulo θ com o vetor indução magnética \vec{B} .

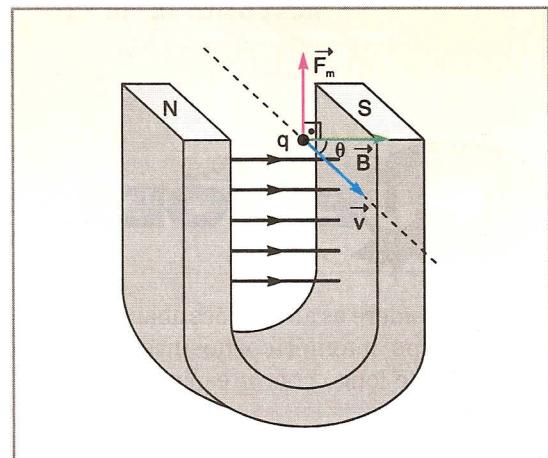
A força magnética \vec{F}_m que age sobre a carga tem as seguintes características:

✓ **direção:** perpendicular ao plano formado pelos vetores \vec{B} e \vec{v}

✓ **sentido:** dado pela regra da mão esquerda. Para tanto, disponha os dedos polegar, indicador e médio, conforme mostra a figura

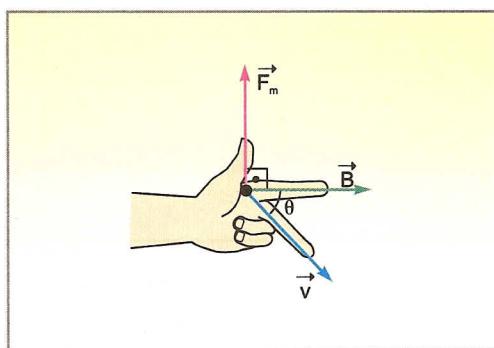
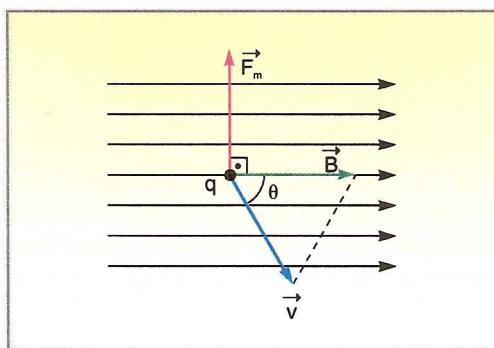
O indicador representa o sentido de \vec{B} , o dedo médio, o sentido de \vec{v} e o polegar representa o sentido de \vec{F}_m .

Se a carga for positiva, o sentido de \vec{F}_m é o indicado na figura e, se a carga for negativa, o sentido de \vec{F}_m é contrário ao dado pela mão esquerda.



Marcus Cappellano

Regra da mão esquerda.



Utilizaremos as seguintes representações:

$\vec{F}_m \odot$ é a força magnética saindo perpendicularmente do papel

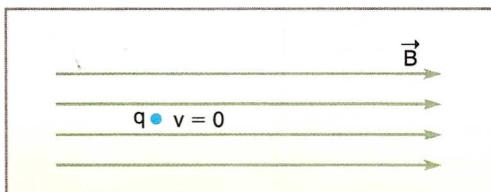
$\vec{F}_m \otimes$ é a força magnética penetrando perpendicularmente no papel

✓ intensidade: experimentalmente verificou-se que a intensidade da força magnética é dada pela expressão:

$$F_m = qvB \sin \theta$$

CASOS PARTICULARES

1º caso: cargas em repouso ($v = 0$)

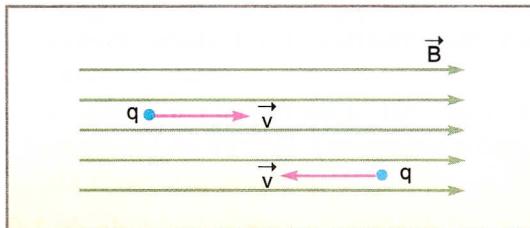


\vec{B} é um campo uniforme.

Nesse caso, temos:

$$F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = 0$$

2º caso: cargas lançadas na mesma direção das linhas de campo



\vec{B} é um campo uniforme.

Nesse caso, temos:

$$\theta = 0^\circ \rightarrow \sin \theta = 0 \text{ (mesmo sentido do campo)}$$

$$\theta = 180^\circ \rightarrow \sin \theta = 0 \text{ (sentido contrário ao do campo)}$$

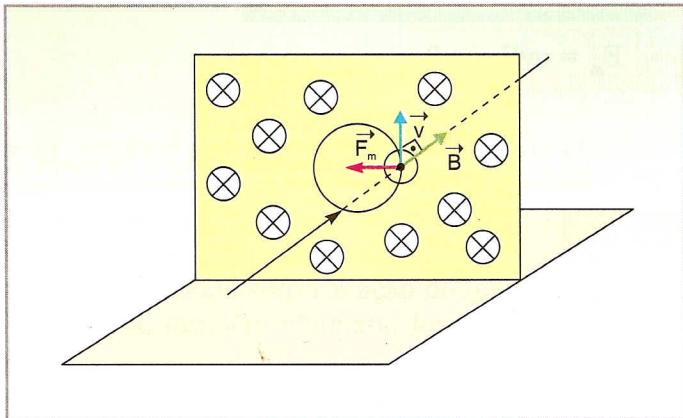
Logo:

$$F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = 0$$

Para o 1º e o 2º casos, pode-se concluir:

Cargas elétricas em repouso ou lançadas na mesma direção do campo magnético não sofrem a ação da força magnética.

3º caso: cargas lançadas perpendicularmente ao campo



\vec{B} é um campo uniforme.

Nesse caso, temos:

$$\theta = 90^\circ \rightarrow \sin \theta = 1 \text{ (velocidade perpendicular ao campo)}$$

Logo:

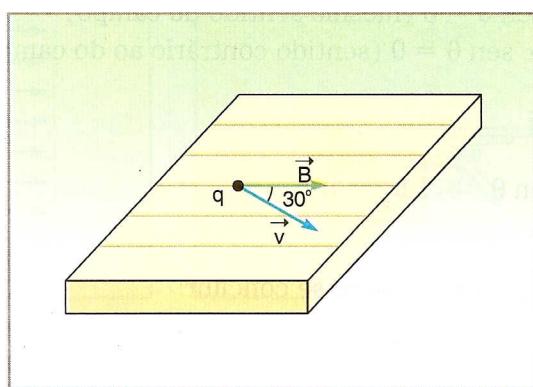
$$F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = qvB$$

Se a força magnética tem intensidade constante e é perpendicular ao vetor velocidade, a carga realiza um MCU. Portanto, a força magnética faz o papel da força centrípeta que age sobre a carga.

APLICAÇÃO

4

Uma partícula elétrica de $5 \mu\text{C}$ desloca-se com velocidade de $1\,000 \text{ m/s}$, formando um ângulo de 30° com um campo magnético uniforme de intensidade $8 \cdot 10^4 \text{ T}$, conforme indica a figura.

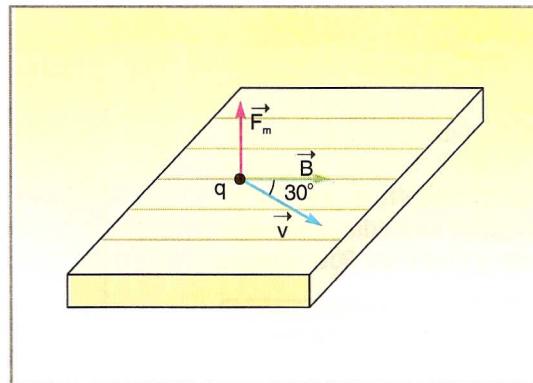


Caracterize a força magnética que atua sobre a partícula.

Resolução:

A força magnética tem as seguintes características:

- direção: perpendicular ao plano \vec{B} e \vec{v} (plano da folha)



- sentido: saindo da folha

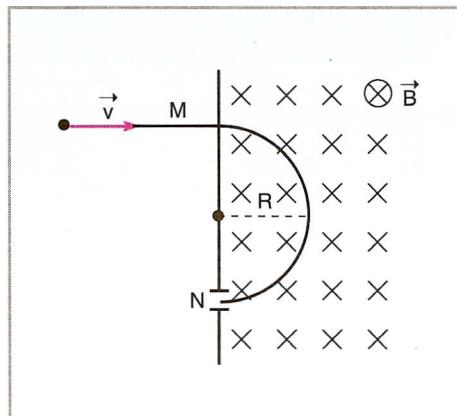
$$\bullet \text{módulo: } F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow F_m = 200 \text{ N}$$

Resposta: módulo: 200 N, direção: perpendicular, sentido: saindo da folha.

5

Um elétron com velocidade $3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ penetra perpendicularmente em um campo magnético uniforme de indução magnética $8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$, passando a descrever uma trajetória circular conforme indica a figura.

A massa de elétron é $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e sua carga é $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Determine o raio R da trajetória descrita.



Resolução:

Dados: $v = 3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$; $B = 8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$;
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

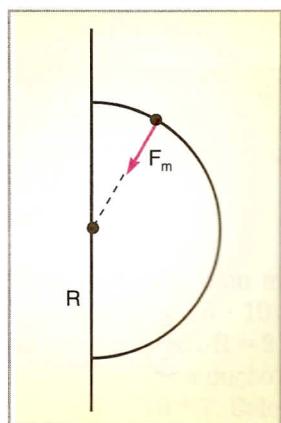
A força magnética é a força centrípeta, pois \vec{v} é perpendicular a \vec{B} ; logo:

$$F_m = F_{cp} \rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{-5}}$$

$$R \approx 0,21 \text{ m}$$

Resposta: $\approx 0,21 \text{ m}$

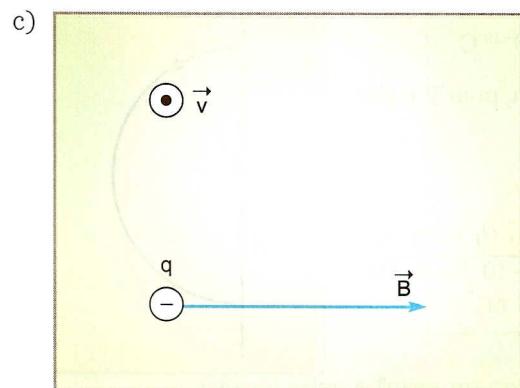
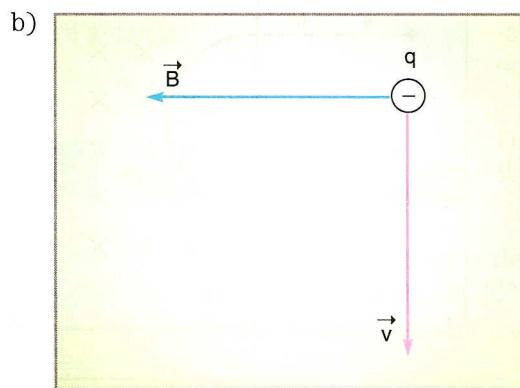
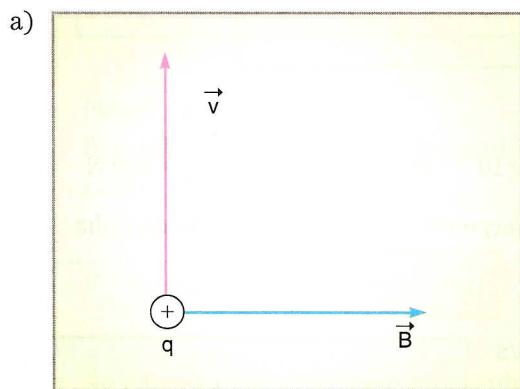


QUESTÕES

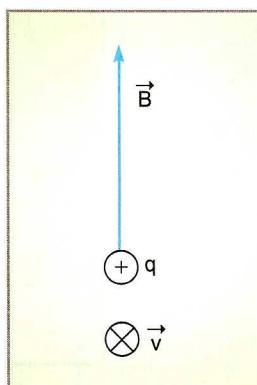
Q20 Em que condição uma carga elétrica num campo magnético uniforme:

- não fica sujeita à ação da força magnética?
- fica sujeita a uma força magnética máxima?

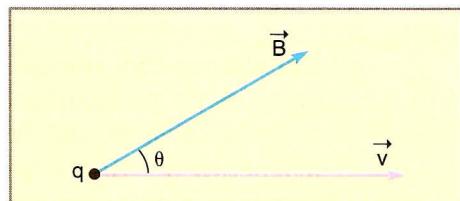
Q21 Represente a força magnética que atua sobre a carga q , lançada com velocidade v num campo de indução magnética uniforme B , nos casos seguintes:



d)



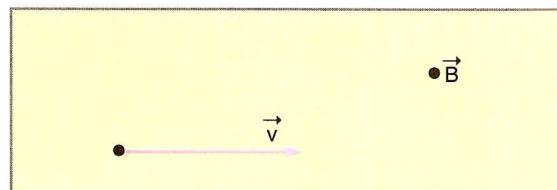
Q22 Uma partícula elétrica de carga q desloca-se com velocidade $2 \cdot 10^2$ m/s, formando um ângulo θ com um campo magnético uniforme de intensidade $16 \cdot 10^4$ T, conforme indica a figura.



Caracterize a força magnética que atua sobre a partícula nos seguintes casos:

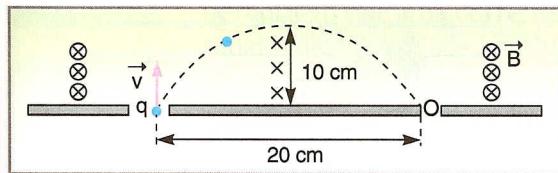
- $\theta = 45^\circ$ e $q = 4 \mu\text{C}$
- $\theta = 0^\circ$ e $q = -5 \mu\text{C}$

Q23 (UFV-MG) Uma câmara de bolhas é representada na figura seguinte, com campo magnético perpendicular à folha deste papel e orientado para fora. Uma partícula com carga positiva é então introduzida na câmara de bolhas, com velocidade v , perpendicularmente a \vec{B} . Dados: $B = 1,0$ T; $v = 3 \cdot 10^3$ m/s; $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ C.



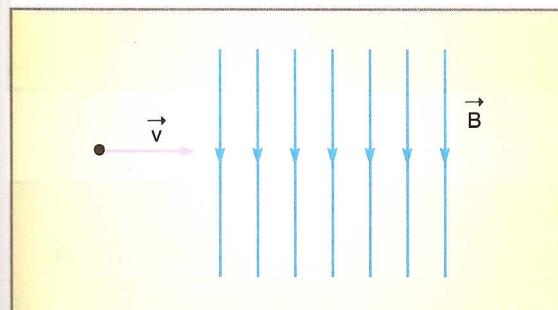
- Represente na figura o vetor força magnética que atua na partícula.
- Calcule a intensidade dessa força.

Q24 Uma partícula com carga $-2 \mu\text{C}$ é lançada perpendicularmente a um campo magnético uniforme de intensidade $4 \cdot 10^5 \text{ T}$, com velocidade de 200 m/s , conforme indica a figura.

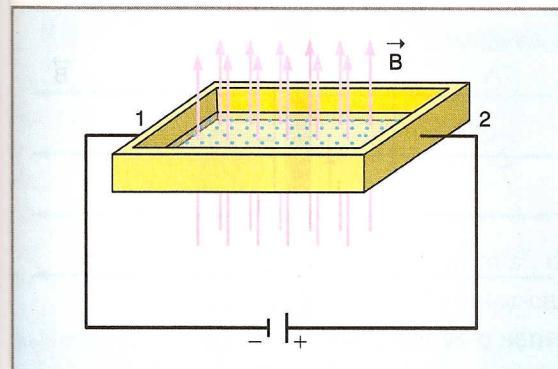


Sabendo que a partícula atinge o ponto O, determine a massa da partícula.

Q25 (UFPE) Uma partícula carregada entra em uma região de campo magnético uniforme, \vec{B} , com a trajetória perpendicular ao campo. Quando a energia cinética da partícula é $4,0 \cdot 10^{-12} \text{ J}$, o raio de sua órbita circular vale 60 cm. Qual seria o valor, em centímetros, do raio de sua órbita circular, se esta mesma partícula tivesse uma energia cinética igual a $2,56 \cdot 10^{-12} \text{ J}$?



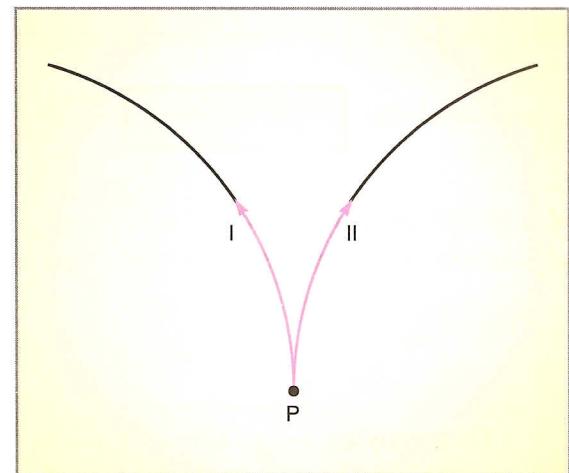
Q26 (UFPR) Na figura abaixo tem-se, no plano horizontal, uma cuba cheia de uma solução com íons positivos e negativos em igual número. As linhas verticais representam um campo magnético \vec{B} , perpendicular à cuba. Um campo elétrico é produzido no interior da cuba, através dos eletrodos 1 e 2 ligados a uma pilha.



Pergunta-se:

- Se o campo \vec{B} for nulo, qual será o sentido do deslocamento médio de cada tipo de íon na solução? Justifique sua resposta.
- Se o campo \vec{B} não for nulo, qual será seu efeito sobre o movimento dos íons na solução? Justifique sua resposta.

Q27 (Vunesp-SP) A figura representa as trajetórias, no interior de um campo magnético uniforme, de um par de partículas pósitron-elétron, criado no ponto P durante um fenômeno no qual a carga elétrica total é conservada.



Considerando que o campo magnético é perpendicular ao plano da figura e aponta para o leitor, responda:

- Qual das partículas, I ou II, é o pósitron e qual é o elétron?
- Explique como se obtém a resposta.

Q28 Sabendo que numa certa região do espaço havia uma carga elétrica positiva em movimento circular uniforme, três estudantes afirmaram:

- Deve haver uma carga elétrica negativa situada no centro da curva.
- Deve haver um campo magnético uniforme perpendicular ao plano da curva.
- Deve haver um campo elétrico uniforme paralelo ao plano da curva.

Quais são verdadeiras?

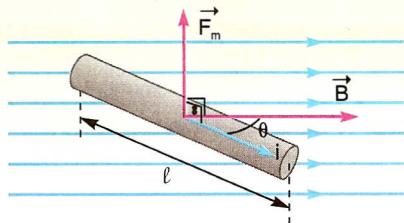
Q29 (FAAP-SP) Uma partícula, com massa $m = 9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e carga $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, desloca-se numa órbita circular de raio $R = 20 \text{ cm}$, perpendicularmente a um campo de indução magnética de intensidade $B = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Calcule a velocidade da partícula.

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UM CONDUTOR RETILÍNEO

Consideremos um condutor retilíneo, de comprimento ℓ , imerso num campo magnético uniforme \vec{B} .

Sejam i a corrente que circula pelo condutor e θ o ângulo entre \vec{B} e i .

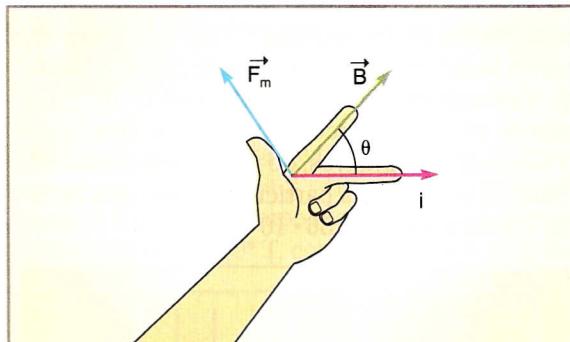
A força magnética que age sobre o condutor é a resultante de um conjunto de forças de Lorentz que atuam sobre cada carga elétrica constituinte da corrente elétrica e tem as seguintes características:



✓ intensidade: $F_m = Bi\ell \operatorname{sen} \theta$

✓ direção: perpendicular a \vec{B} e a i

✓ sentido: dado pela regra da mão esquerda

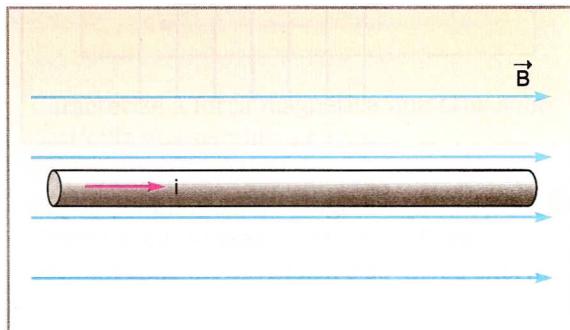


Observações:

1^a) Se i for paralela a \vec{B} , teremos $\theta = 0^\circ$ ou $\theta = 180^\circ$. Logo, $\operatorname{sen} \theta = 0$.

$$F_m = Bi\ell \operatorname{sen} \theta$$

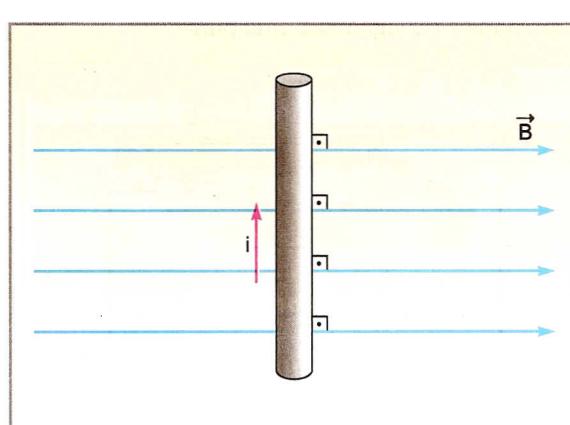
$$F_m = 0$$



2^a) Se i for perpendicular a \vec{B} , teremos $\theta = 90^\circ$. Logo, $\operatorname{sen} \theta = 1$.

$$F_m = Bi\ell \operatorname{sen} \theta$$

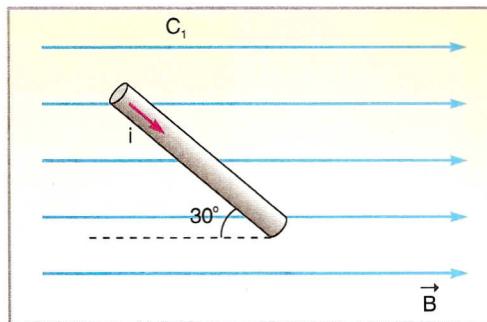
$$F_m = Bi\ell$$



APLICAÇÃO

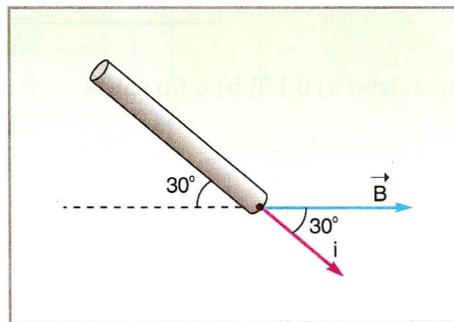
A 6

O condutor de comprimento 2 m é percorrido por uma corrente i de intensidade 10 A. Esse condutor está situado no interior de um campo magnético uniforme de intensidade $B = 0,05$ T. Qual a intensidade da força magnética exercida nesse condutor?



Resolução:

Da figura, temos:

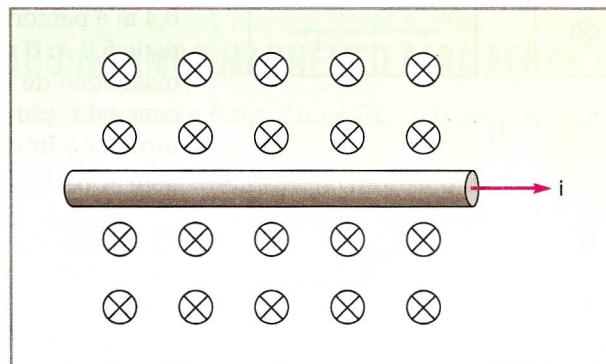


$$F_m = Bi\ell \sin \theta \rightarrow F_m = 0,05 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \sin 30^\circ = 0,05 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = 0,5 \text{ N}$$

Resposta: 0,5 N

A 7

Um campo magnético uniforme e horizontal é capaz de impedir a queda de um fio condutor retilíneo de comprimento 0,2 m e massa 5 g, horizontal e perpendicular às linhas de indução, quando por ele passa uma corrente de 2,5 A, conforme indica a figura.



Admitindo-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

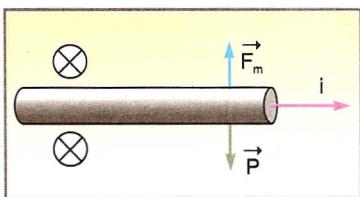
a) a intensidade do vetor campo magnético

b) o que ocorreria se o sentido da corrente que passa pelo fio condutor fosse invertido

Resolução:

Dados: $\ell = 0,2 \text{ m}$, $m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, $i = 2,5 \text{ A}$, $\theta = 90^\circ$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

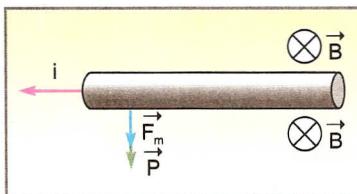
a)



Como o fio está em equilíbrio, temos:

$$\begin{aligned} F_m &= P \rightarrow Bi\ell \operatorname{sen} \theta = mg \rightarrow \\ &\rightarrow B \cdot 2,5 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{sen} 90^\circ = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \rightarrow \\ &\rightarrow B = 0,1 \text{ T} \end{aligned}$$

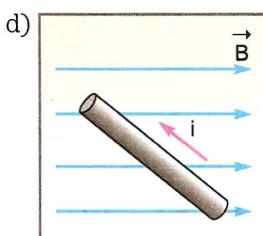
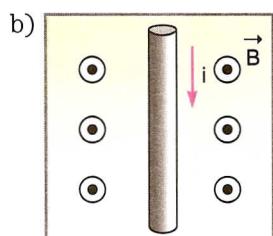
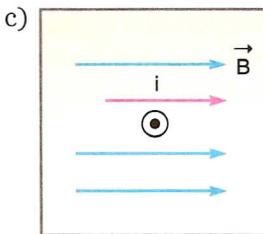
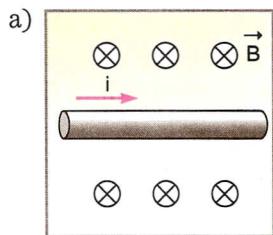
b) O fio cairia.



Respostas: a) 0,1 T; b) o fio cairia

QUESTÕES

Q30 Os condutores das figuras são percorridos por uma corrente elétrica i e estão imersos num campo magnético uniforme \vec{B} .



Represente, em cada caso, a força magnética que age sobre cada condutor.

Q31 (EFOA-MG) Considere um condutor retilíneo, de comprimento L , percorrido por uma

corrente i , colocado perpendicularmente a um campo magnético uniforme \vec{B} . Sobre esse condutor, atuará a força magnética \vec{F} .

a) De quais dessas grandezas depende a intensidade (módulo) da força \vec{F} ?

b) Qual a direção da força \vec{F} ?

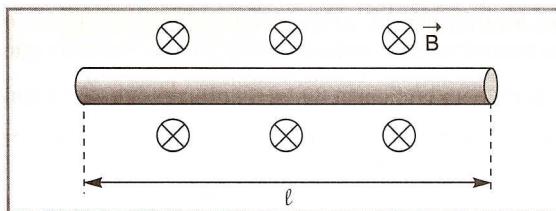
Q32 Um condutor retilíneo de comprimento 0,4 m é percorrido por uma corrente de intensidade 5,0 A. O condutor está imerso num campo magnético de intensidade $2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$, formando com a direção do campo um ângulo de 60° . Determine a intensidade da força magnética que atua sobre o condutor. Faça $\operatorname{sen} 60^\circ = 0,8$.

Q33 Um condutor retilíneo de comprimento 50 cm, percorrido por uma corrente de intensidade 2,5 A, é colocado no interior de um campo magnético uniforme de intensidade $4 \cdot 10^{-2} \text{ T}$. Calcule a intensidade da força magnética que age sobre o condutor nos casos abaixo.

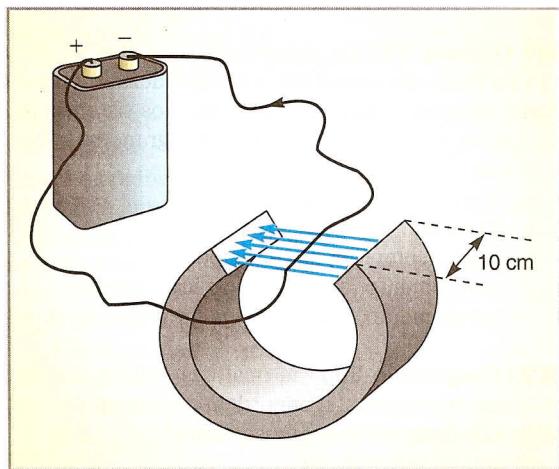
- O condutor é colocado paralelamente ao vetor indução magnética.
- O condutor é colocado perpendicularmente ao vetor indução magnética.

Q34 (EFEI-MG) Calcule a intensidade da força magnética que age em um condutor de 20 cm, percorrido por uma corrente elétrica de 10 A, colocado perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético de intensidade 1 T. Indique, em um esquema, a direção e o sentido da força.

Q35 Um segmento de condutor reto e horizontal, tendo comprimento $\ell = 20$ cm e massa $m = 40$ g, percorrido por corrente $i = 5,0$ A, está em equilíbrio sob as ações exclusivas da gravidade g e de um campo magnético B horizontal. Adote $g = 10$ m/s². Determine B e o sentido de i .



Q36 (UFPE) Um fio de 10 cm de comprimento, no qual circula uma corrente de 50 A, é colocado entre os pólos de um ímã como indicado na figura. Supondo que o campo magnético gerado pelo ímã é de $1 \cdot 10^{-3}$ T, calcule a força que age sobre o fio, em unidades de 10^{-3} N.



PESQUISE

- I) Como se determina a intensidade da força magnética entre dois fios paralelos e percorridos por correntes:
 - a) de mesmo sentido?
 - b) de sentidos opostos?
- II) O que é uma corrente induzida? Como ela pode ser obtida?
- III) Como funciona o dínamo de uma bicicleta?

VOCÊ SABIA?

USANDO O CAMPO MAGNÉTICO PARA ACHAR ÁGUA

Um método que permite detectar *aqüíferos*, regiões subterrâneas onde se acumula água, pode solucionar parte dos problemas da seca do Nordeste.

Trabalhando no Projeto de Estudo Geofísico da Bacia do Parnaíba, uma equipe de pesquisadores do Departamento de Geofísica do Observatório Nacional já conseguiu localizar vários poços.

Uma das formas de aplicação do método é por meio de geração de correntes elétricas artificiais.

Os pesquisadores fazem passar corrente num fio condutor em forma de um quadrado de 50 cm de lado, colocado sobre o solo. Essa corrente cria um campo magnético que se difunde na terra.

Conhecendo as relações entre os campos e as correntes é possível mapear a condutividade elétrica da terra e, assim, localizar determinados materiais, entre eles a água.