

# Física: Magnetismo

Dr. Rafael da Silva

Criado: 18 de agosto de 2025

Atualizado: 11 de setembro de 2025

## Sumário

		1.2.2	Lei de Ampère . . . . .	4
		1.2.3	Espiras . . . . .	5
		1.2.4	Solenoides . . . . .	8
<b>1</b>	<b>Campo Magnético</b>	<b>2</b>		
1.1	Escrever . . . . .	2		
1.2	Campo Magnético Gerado		<b>2 Força Magnética</b>	<b>10</b>
	por Corrente . . . . .	2	2.1	A Força Magnética . . . . . 10
1.2.1	Lei de Biot–Savart . . .	3	2.2	Força Sobre Cargas Elétricas . 11

## Exercícios

Questão 01

Questão 02

### 1 Campo Magnético

#### 1.1 Escrever

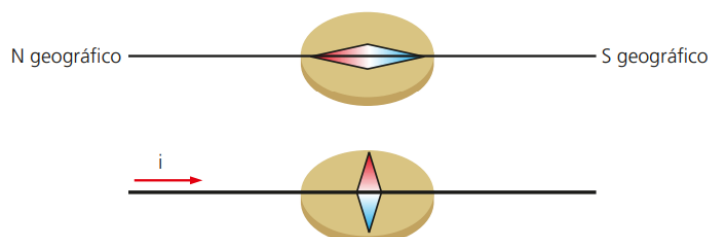
#### 1.2 Campo Magnético Gerado por Corrente

No ano de 1820, o físico e químico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777–1851) realizou uma experiência fundamental ao demonstrar que a passagem de uma corrente elétrica através de um fio condutor produz efeitos magnéticos em seu entorno, que ele descreveu como um “conflito”.

Atualmente, compreendemos que cargas elétricas em movimento geram campos magnéticos ao seu redor, os quais podem interagir com materiais magnetizados próximos. É exatamente por esse motivo que não se recomenda manter cartões magnéticos nas proximidades de aparelhos elétricos.

Em seu artigo *Experimenta circa effectum conflictus electricitatis in acum magneticam* (“Experiências sobre o efeito do conflito elétrico na agulha magnética”), Oersted descreveu detalhadamente os procedimentos utilizados para determinar a direção da força magnética que atua sobre um polo de ímã quando este se encontra nas proximidades de fios condutores percorridos por corrente elétrica. Esse trabalho é considerado o marco inicial do estudo do eletromagnetismo.

No experimento, uma bússola é inicialmente posicionada de modo que seus ponteiros permaneçam em equilíbrio, paralelos a um fio retilíneo sem corrente. No momento em que a corrente elétrica passa a percorrer o fio, observa-se que os ponteiros da bússola desviam-se e passam a se equilibrar em uma direção ortogonal (perpendicular) ao fio.



### 1.2.1 Lei de Biot–Savart

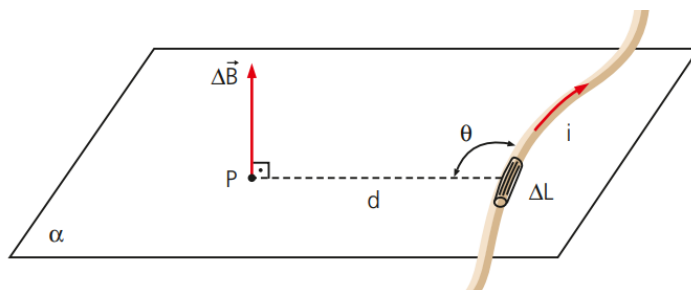
Dois físicos franceses, Jean-Baptiste Biot (1774–1862) e Félix Savart (1791–1841), foram os responsáveis por formular a equação que permite calcular a intensidade do campo magnético produzido por uma corrente elétrica. É justamente essa relação que estudaremos a seguir.

Considere um pequeno elemento de fio condutor, de comprimento  $\Delta L$ , percorrido por uma corrente elétrica de intensidade  $i$ , cuja unidade no sistema internacional (SI) é o ampère (A). Essa corrente gera um campo magnético de intensidade  $\Delta B$  em um ponto situado a uma distância  $d$  desse elemento.

Se a distância  $d$  for medida de modo que forme um ângulo  $\theta$  com o elemento  $\Delta L$ , então a intensidade do campo magnético  $\Delta B$  é dada por:

$$\Delta B = \frac{\mu_0 i \Delta L \sin \theta}{4 \pi d^2}$$

O vetor indução magnética  $\Delta \vec{B}$ , que representa a intensidade e a direção do campo em cada ponto, é perpendicular ao plano  $\alpha$  formado pelo elemento  $\Delta L$  e pela distância  $d$ . Seu módulo e sentido são definidos pelo produto vetorial, operação entre vetores que não exploraremos em profundidade aqui, mas apresentado na figura abaixo.



A unidade de medida do campo magnético no SI é o tesla (T), estabelecida em homenagem a Nikola Tesla, físico, engenheiro e inventor croata de notável contribuição para a eletricidade e o magnetismo. Mais adiante, falaremos em detalhes sobre sua trajetória e descobertas.

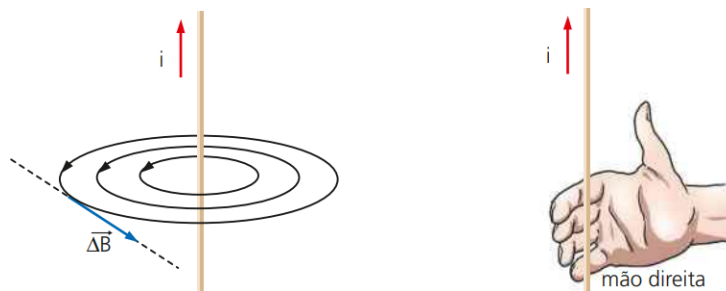
A constante  $\mu_0$  expressa a *permeabilidade magnética* do meio, isto é, a medida da facilidade com que esse meio pode ser magnetizado. No vácuo, seu valor é:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}.$$

Para fins práticos, adotaremos a *regra da mão direita*, apresentada abaixo, a fim de mantermos consistência com as convenções utilizadas no estudo do eletromagnetismo no ensino médio.

- O polegar é posicionado no sentido da corrente elétrica convencional (o sentido que as cargas positivas teriam se pudessem se movimentar no interior do material).
- O sentido de percurso das linhas (circulares e fechadas) de força magnética é dado pelos demais dedos, envoltos no fio.

Veja isso nas ilustrações que se seguem:

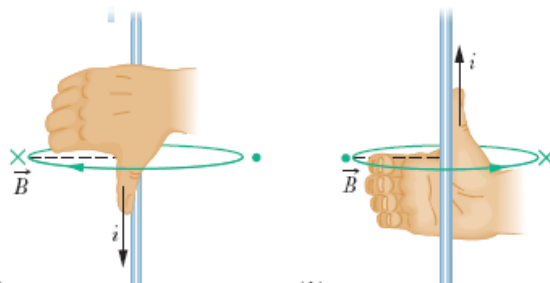


Em cada ponto do campo magnético, o vetor indução magnética  $\Delta \vec{B}$  tangencia a linha de força e adota o mesmo sentido.

### 1.2.2 Lei de Ampère

A lei de Biot–Savart pode ser utilizada para calcular a intensidade do campo magnético gerado por correntes elétricas em condutores de diferentes formatos e geometrias.

No caso específico de um condutor retilíneo e suficientemente longo, como os fios que utilizamos no cotidiano, a corrente elétrica de intensidade  $i$  origina um campo magnético cujas linhas de força têm a forma de circunferências concêntricas, dispostas em planos perpendiculares ao fio.



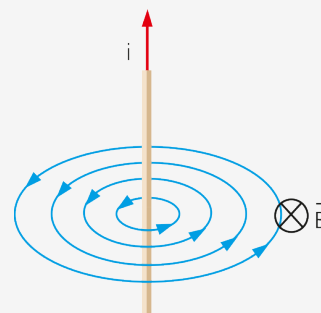
Em cada uma dessas circunferências, de raio  $R = d$  (onde  $d$  é a distância do fio até um ponto  $P$  pertencente à circunferência), a intensidade do vetor indução magnética  $\vec{B}$  pode ser determinada pela **lei de Ampère**:

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

**Exemplo 1**

Um fio retilíneo longo e em posição vertical é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade igual a 3 A e sentido convencional ascendente, conforme a figura ao lado. Determine:

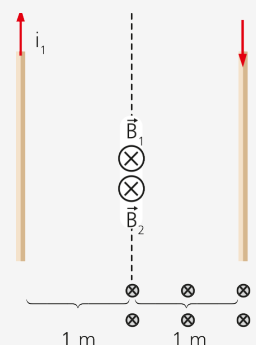
- a) a direção e o sentido do vetor indução magnética num ponto localizado à direita do fio;
- b) a intensidade do campo magnético num ponto que se situa a 50 cm do fio.

**Resolução**

- a) Num ponto à direita do fio temos o vetor indução magnética na direção horizontal, pois ele tangencia uma linha de força circular e horizontal, entrando no papel.
- b) A intensidade do campo a 0,5 m de distância do fio é:

**Exemplo 2**

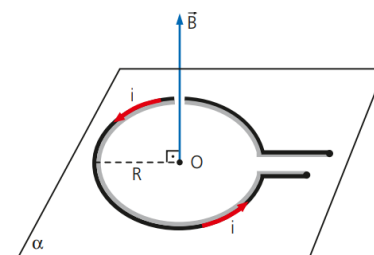
Dois fios retilíneos, longos e paralelos, são atravessados por correntes elétricas de intensidades iguais, respectivamente, a 1 A e 2 A. Os sentidos de tráfego das correntes são opostos e os fios estão distanciados 2 m, conforme a figura ao lado. Determine a intensidade do vetor campo magnético resultante num ponto equidistante dos fios, no plano formado por eles.

**Resolução**

O ponto equidistante aos fios, no mesmo plano deles, fica a  $d = 1$  m. Nesse ponto, os vetores  $B_1$  e  $B_2$  têm o mesmo sentido: “entrando  $\otimes$  no papel”, na figura. Logo, a resultante será a soma dos módulos desses vetores:

**1.2.3 Espiras**

Vamos analisar agora o caso de um condutor disposto em forma de espira circular, conforme ilustrado na figura ao lado. Nessa configuração,  $O$  representa o centro da espira,  $R$  o seu raio,  $\alpha$  o plano que a contém e  $i$  a intensidade da corrente que a percorre.



Por meio de observações experimentais, verifica-se

que o campo magnético gerado por essa corrente apresenta, no centro  $O$  da espira, um vetor indução magnética  $\vec{B}$  cuja direção é perpendicular ao plano  $\alpha$ . O sentido desse vetor é definido pela *regra da mão direita*, em conformidade com as convenções do eletromagnetismo.

A intensidade do campo magnético no centro pode ser determinada pela **lei de Biot-Savart**, considerando-se  $\theta = 90^\circ$  (de modo que  $\sin \theta = 1$ ) e  $d = R$ .

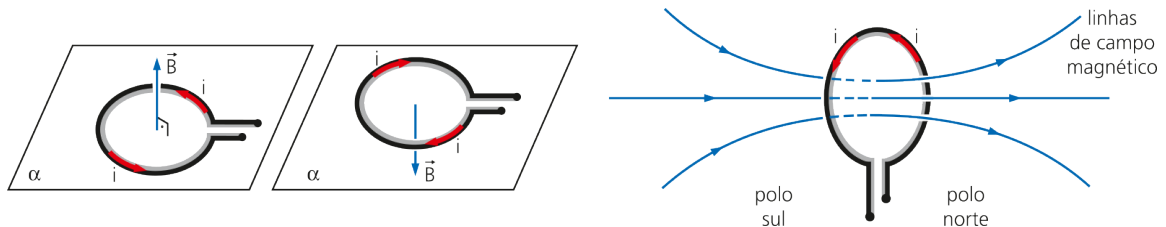
Assim, cada elemento  $\Delta L$  da espira contribui para um campo  $\Delta B$  de intensidade:

$$\Delta B = \frac{\mu_0 i \Delta L}{4 \pi R^2}$$

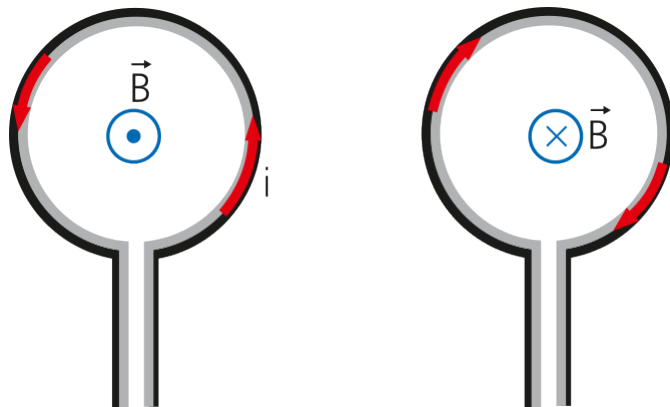
A intensidade do campo  $B$  no centro  $O$ , determinada por todos os trechos dessa espira ( $L = 2 \pi R$ ):

$$B = \frac{\mu_0 i 2 \pi R}{4 \pi R^2} \Rightarrow \frac{\mu_0 i}{2 R}$$

Podemos estabelecer uma analogia entre os campos magnéticos gerados por uma espira e aqueles observados em um ímã. Assim como em um ímã as linhas de campo emergem do polo norte e se dirigem ao polo sul, no caso da espira ocorre algo semelhante: a face pela qual as linhas de força “saem” corresponde ao *polo norte*, enquanto a face oposta, por onde as linhas “entram”, corresponde ao *polo sul*.



Numa observação frontal das faces, temos os seguintes esquemas:



Quando a corrente elétrica percorre a espira no sentido anti-horário, esta se comporta como um polo norte, de modo que as linhas de força magnética emergem do plano do papel. Já no caso em que a corrente circula no sentido horário, a espira se comporta

como um polo sul, fazendo com que as linhas de força magnética entrem no plano do papel.

Se considerarmos um conjunto de  $n$  espiras idênticas, justapostas, denominado **bobina chata**, a intensidade do campo magnético no seu centro será dada por:

$$B_{\text{bobina}} = n \frac{\mu_0 i}{2 R}$$

### Exemplo 3

Uma espira, de raio 20 cm, está sendo percorrida por uma corrente elétrica de intensidade 3 A. Calcule o campo magnético no centro dela.

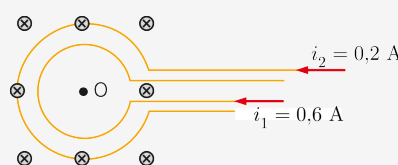
#### Resolução

Independentemente de qual seja o sentido da corrente, a intensidade do campo magnético no centro da espira é dada por:

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

### Exemplo 4

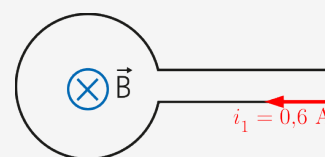
Duas espiras estão situadas no mesmo plano. Elas são concêntricas e têm raios de  $0,3\pi$  m e  $0,4\pi$  m, sendo percorridas por correntes elétricas, cujas intensidades e sentidos estão indicados na figura ao lado.



#### Resolução

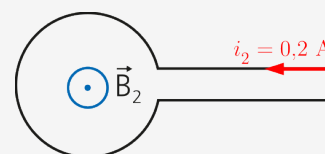
A espira interna cria no centro um campo cujo vetor indução entra no papel e seu módulo é:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{\mu_0 i_1}{2 R_1} \\ &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,6}{2 \cdot 0,3\pi} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ T.} \end{aligned}$$



A espira externa cria no centro um campo cujo vetor indução sai do papel, sendo o seu módulo igual a:

$$\begin{aligned} B_2 &= \frac{\mu_0 i_2}{2 R_2} \\ &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,4\pi} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ T.} \end{aligned}$$



O vetor indução resultante  $B_{\text{res}}$  estará “entrando no papel”, pois  $B_1$  tem o módulo maior que  $B_2$ . Logo, a intensidade resultante do campo magnético é:

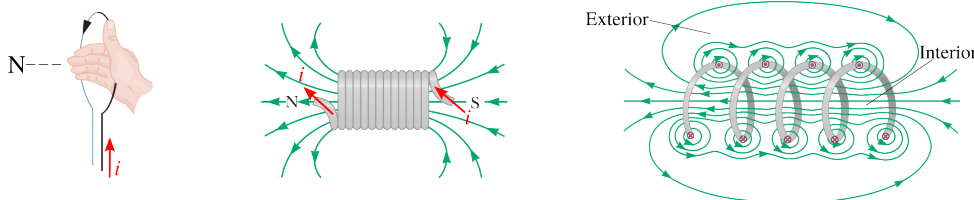
$$B_{\text{res}} = B_1 - B_2 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ T.}$$

### 1.2.4 Solenoides

Ao tocar uma campainha ou acionar a trava elétrica de um carro, estamos utilizando um dispositivo chamado **solenóide**. Mas afinal, o que é um solenoide e como ele se relaciona com o fenômeno descoberto por **Oersted**?

Um **solenóide** consiste em um fio condutor enrolado em forma de espiras. Quando esse fio é percorrido por uma corrente elétrica, o solenoide passa a se comportar como um ímã em barra: em seu interior surge um **campo magnético**. A extremidade de onde as linhas de força saem corresponde ao **polo norte**, enquanto a extremidade por onde elas entram corresponde ao **polo sul**.

Se o comprimento do solenoide for muito maior que o seu diâmetro, podemos considerar que o campo magnético em seu interior possui **intensidade praticamente constante**. Nesse caso, as linhas de força são **paralelas e equidistantes**, caracterizando um **campo magnético uniforme**.



No **campo magnético uniforme**, o vetor indução magnética  $\vec{B}$  apresenta direção coincidente com o eixo longitudinal do solenoide, e seu sentido é determinado pela **regra da mão direita**.

A intensidade do campo magnético uniforme, aplicando a **lei de Ampère**, é dada por:

$$B = \frac{\mu_0 n i}{L}.$$

Nessa expressão,  $n$  é a quantidade de espiras e  $L$  é o comprimento do solenoide. A razão  $n/L$  é chamada de densidade linear de espiras.

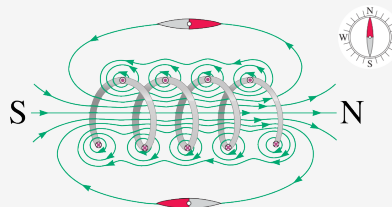


**Exemplo 5**

Em que posição uma agulha de bússola ficará em equilíbrio nas proximidades de um solenoide, de modo que fique paralela ao eixo longitudinal do solenoide?

**Resolução**

A agulha ficará no referido equilíbrio numa posição lateral e paralela ao eixo longitudinal do solenoide, pois as linhas de força magnética nas suas proximidades estão dispostas conforme mostra a figura ao lado:

**Exemplo 6**

Um solenoide tem 20 cm de comprimento e é composto por 500 espiras. A intensidade da corrente elétrica que o atravessa é de 0,2 A.

- Calcule a densidade linear de espiras.
- Calcule o módulo do campo magnético uniforme formado no interior do solenoide.

**Resolução**

- A densidade linear de espiras é:

$$\frac{n}{L} = \frac{500}{0,2} = 2500.$$

Há 2 500 espiras por metro ou 25 espiras por centímetro.

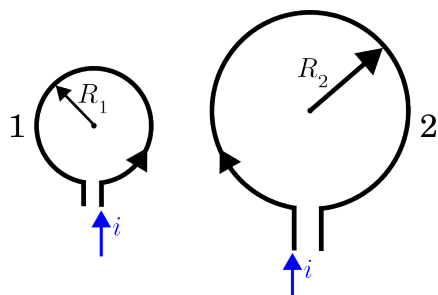
- O campo magnético uniforme formado no interior do solenoide tem sua intensidade dada por:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-4} \cdot 500 \cdot 0,2}{0,2} = 2\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}.$$

## Exercícios

### Questão 01

(UFRGS) A figura abaixo mostra duas espiras circulares (1 e 2) de fios metálicos. O raio da espira 2 é o dobro do raio da 1. Ambas estão no plano da página e são percorridas por correntes elétricas de mesma intensidade  $i$ , mas de sentidos contrários. O campo magnético criado pela espira I no seu centro é  $B_1$ . O campo magnético criado pela espira II no seu centro é  $B_2$ .

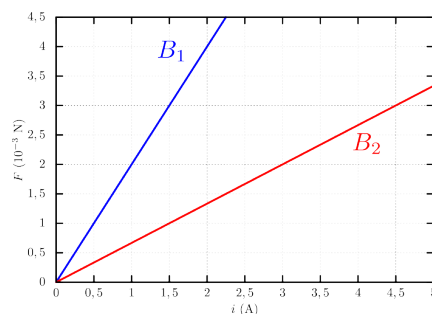


Com relação a  $B_1$  e  $B_2$ , pode-se afirmar que:

- (A)  $B_1 > B_2$ .
- (B)  $B_1 = B_2 = 0$ .
- (C)  $B_1 < B_2$ .
- (D)  $B_1$  e  $B_2$  têm o mesmo sentido.
- (E)  $B_1$  aponta para dentro da página, e  $B_2$ , para fora.

### Questão 02

(UFRGS) Uma das maneiras de obter o valor de um campo magnético uniforme é colocar um fio condutor perpendicularmente às linhas de indução e medir a força  $F$  que atua sobre o fio para cada valor de corrente  $i$  que o percorre. Em um desses experimentos de laboratório, o fio foi colocado em dois campos magnéticos  $B_1$  e  $B_2$  diferentes, e fizeram-se as medidas que permitiram a construção do gráfico abaixo. Qual a razão  $B_1/B_2$ ?



- (A)  $1/4$ .
- (B)  $1/2$ .
- (C) 2.
- (D) 3.
- (E) 4.

## 2 Força Magnética

### 2.1 A Força Magnética

A força magnética é um dos fenômenos fundamentais do eletromagnetismo, que descreve a interação entre cargas elétricas em movimento e campos magnéticos. Diferente da força elétrica, que atua sobre cargas elétricas independentemente de seu estado de movimento, a força magnética só se manifesta quando há movimento de cargas elétricas em relação a um campo magnético. Além disso, a direção do movimento da carga deve

ser diferente da direção do campo magnético para que a força seja observada.

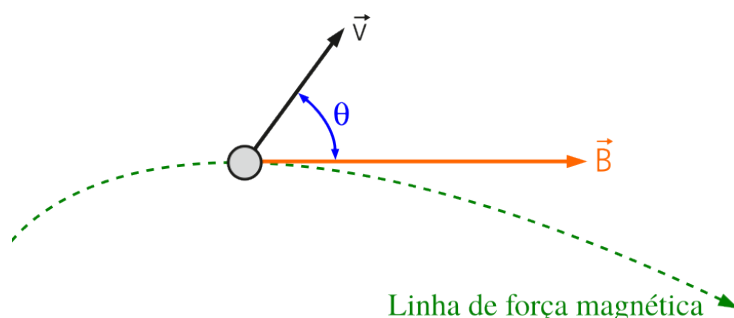
Historicamente, a relação entre eletricidade e magnetismo foi descoberta por Oersted. Posteriormente, André-Marie Ampère propôs que as correntes elétricas são as fontes de todos os fenômenos magnéticos. Essa interconexão é a base para o funcionamento de diversos dispositivos modernos, como motores elétricos, geradores e transformadores.

## 2.2 Força Sobre Cargas Elétricas

Quando uma partícula eletrizada com carga  $q$  se move com velocidade  $\vec{v}$  em uma região onde existe um campo magnético  $\vec{B}$ , ela pode ser submetida a uma força magnética  $\vec{F}_m$ . É fundamental entender que esta força só surge se a carga estiver em movimento e se a direção de sua velocidade não for paralela à direção do campo magnético.

Para caracterizar essa **força magnética**, vamos considerar uma partícula eletrizada – seja um corpo móvel ou uma carga elétrica puntiforme – de massa  $m$  e carga elétrica  $q$ , que se desloca no interior de um campo magnético.

Em certo instante, a partícula possui velocidade  $\vec{v}$  ao passar por um ponto onde o vetor indução magnética é  $\vec{B}$ , formando entre eles um ângulo  $\theta$ .



Por definição, a intensidade da força magnética é dada pela expressão:

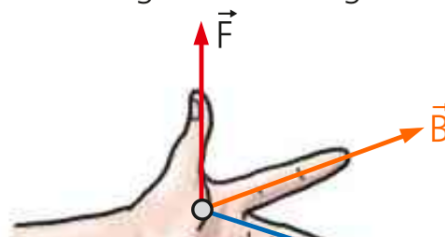
$$F = |q| v B \sin \theta$$

Essa força é sempre **perpendicular** ao plano definido pelos vetores  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ . Seu sentido, assim como o do vetor indução magnética, é determinado pelo produto vetorial entre os dois vetores, assunto que foge ao escopo desta obra.

Como alternativa, utilizaremos um recurso prático chamado **regra da mão esquerda** ou **regra de Fleming**, que consiste em:

- Apontar o **indicador** na direção e no sentido de  $\vec{B}$ ;

Regra da mão esquerda ou regra de Fleming.



- Ajustar o **dedo médio** (girando a mão, se necessário) na direção e no sentido de  $\vec{v}$ ;
- O **polegar**, perpendicular ao plano formado pelos dedos indicador e médio, indicará o sentido da força magnética  $\vec{F}_m$  quando  $q > 0$ . Caso contrário, se  $q < 0$ , o vetor  $\vec{F}_m$  terá o sentido oposto.

### Exemplo 7

Se a direção do deslocamento de uma partícula eletrizada, numa região em que há a atuação de um campo magnético, for paralela ao vetor indução magnética, qual será o módulo da força magnética originada?

#### Resolução

Se as direções de  $\vec{B}$  e  $\vec{v}$  forem paralelas, o ângulo formado entre esses vetores é  $q = 0^\circ$  (se tiverem o mesmo sentido) ou  $q = 180^\circ$  (com sentidos opostos) – a direção da velocidade é a do deslocamento da partícula, no instante considerado.

Tanto num caso como no outro, o valor do seno é nulo ( $\sin 0^\circ = \sin 180^\circ = 0$ ). Consequentemente, o módulo da intensidade da força magnética será nulo:

$$F = |q| v B \sin \theta = |q| v B \cdot 0 = 0$$

## Exercícios

**Questão 01**

(UFRGS) Um fio condutor colocado perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético uniforme sofre a ação de uma força de módulo  $F$  quando ele é percorrido por uma corrente elétrica. Dobrando-se a intensidade do campo magnético e reduzindo-se a corrente elétrica à metade, enquanto as demais condições permanecem

inalteradas, o fio sofrerá a ação de uma força de módulo:

- (A)  $F/4$ .
- (B)  $F/2$ .
- (C)  $F$ .
- (D)  $2F$ .
- (E)  $4F$ .

**Questão 02**