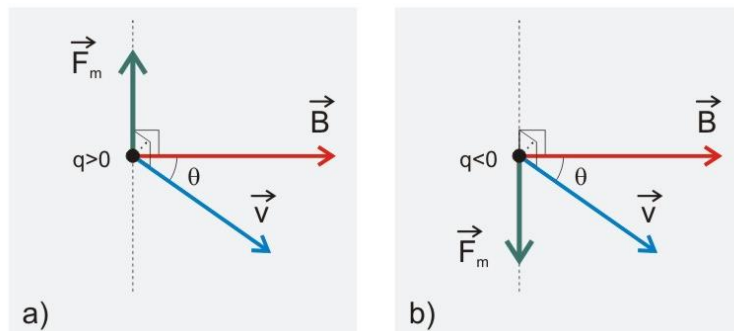


Magnetismo: força magnética

Resumo

Força magnética sobre uma partícula eletrizada lançada num campo magnético uniforme

Como já vimos, portadores de carga elétrica em movimento geram campo magnético. Se o movimento da partícula ocorre num campo magnético uniforme, teremos a interação desses campos se manifestando através de uma força magnética.



Força magnética \vec{F}_m que age numa partícula eletrizada com carga elétrica q lançada com velocidade \vec{v} num campo magnético \vec{B} .

a) $q > 0$ e b) $q < 0$

Essa força magnética (**Força de Lorentz**) é calculada por:

$$\vec{F}_m = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

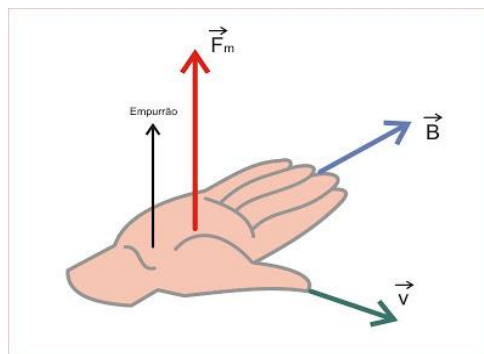
Onde o símbolo "x" significa *produto vetorial*. Não é uma multiplicação!

Módulo $\rightarrow F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta$

Direção \rightarrow Perpendicular ao plano determinado pelos vetores \vec{B} e \vec{v} .

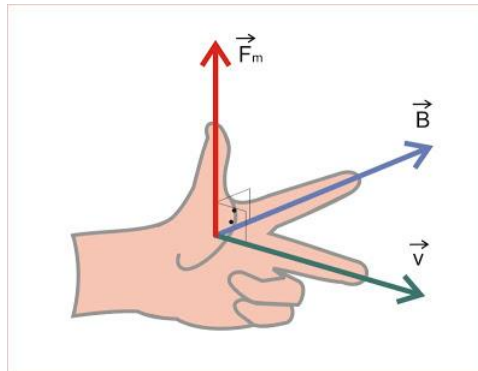
Sentido \rightarrow Determinado pela "regra da mão direita" (também tem a "regra da mão esquerda").

Regra da mão direita:



A força magnética será perpendicular ao plano da palma da mão. Seu sentido será o mesmo do produto vetorial ($\vec{v} \times \vec{B}$) caso a carga tenha sinal positivo ($q > 0$). No caso da carga elétrica ser negativa ($q < 0$) terá sentido contrário ao do produto vetorial.

Obs.: O sentido da força magnética pode também ser determinado pela regra da mão esquerda. Veja a figura abaixo. O dedo polegar fornece o sentido da força magnética considerando $q > 0$. Para $q < 0$, o sentido da força magnética é oposto.

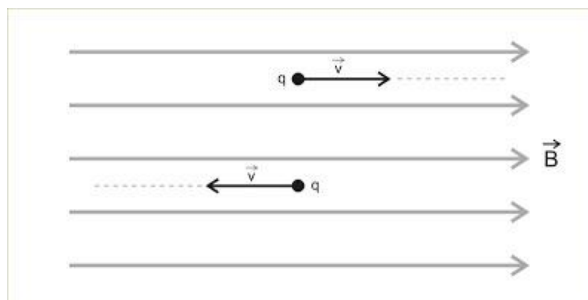


Unidades no S.I.

Força (F_m)	Carga elétrica (q)	Velocidade (v)	Campo magnético (B)
Newton (N)	Coulomb (C)	m/s	Tesla (T)

Análise do movimento de uma partícula eletrizada lançada num campo magnético uniforme

- 1) Partícula eletrizada com carga $q > 0$ lançada paralelamente às linhas de indução magnética do campo ($\vec{v} // \vec{B}$).

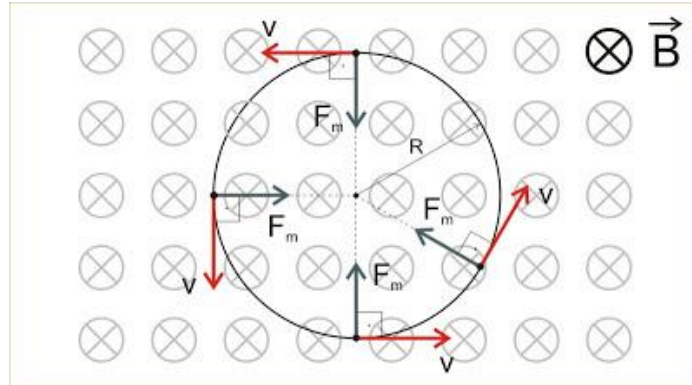


Sendo: $F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta$ e $\theta = 0^\circ$ ou $\theta = 180^\circ$, em ambos os casos $\sin\theta = 0$.

Sendo assim: $F_m = 0$, temos então, um movimento retilíneo uniforme (MRU).

$$\vec{v} // \vec{B} \rightarrow F_m = 0$$

- 2) Partícula eletrizada com carga $q > 0$ lançada perpendicularmente às linhas de indução magnética do campo ($V \perp B$).



Sendo $F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta$ e $\theta = 90^\circ$, temos $\sin 90^\circ = 1$.

Sendo assim: $F_m = q \cdot v \cdot B$

Atenção!

Sendo \vec{F}_m perpendicular à \vec{v} ao longo de todo o movimento, esta força tem sua atuação como resultante centrípeta, não variando o módulo da velocidade, mas somente sua direção, obrigando a partícula eletrizada à realizar um movimento circular uniforme (MCU).

$$\vec{F}_m = \vec{R}_{centripeta}$$

$$\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow MCU$$

Obs.: Cálculo do raio R da trajetória:

$$F_m = R_{cp} \rightarrow |q|vB = m \frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

Obs.: Cálculo do período T do movimento:

$$v = \omega R \rightarrow v = \frac{2\pi}{T} R \rightarrow vT = 2\pi \frac{mv}{qB} \rightarrow T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

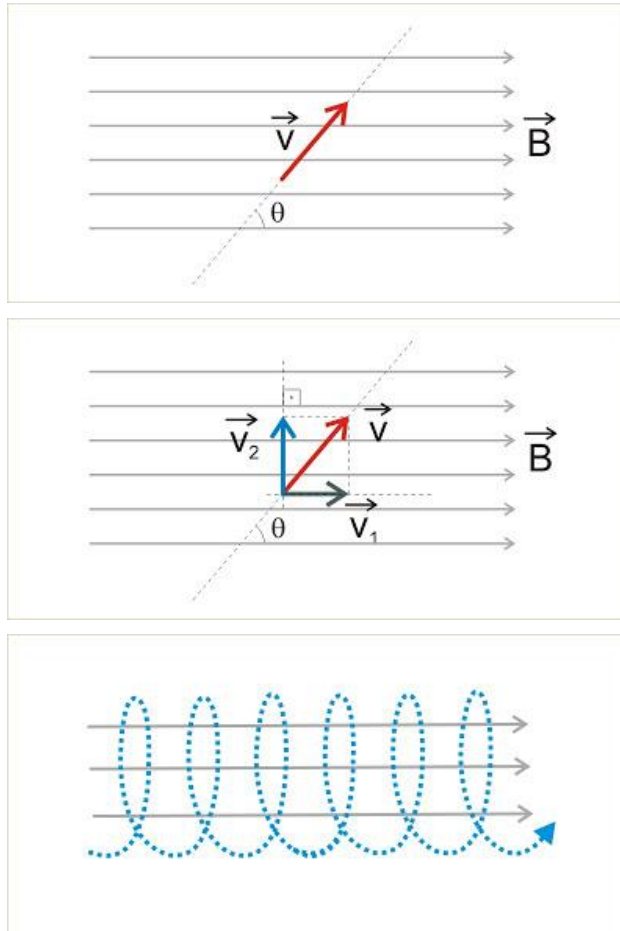
Obs.: Cálculo da frequência f do movimento:

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

Obs.: Período e frequência não dependem da velocidade de lançamento.

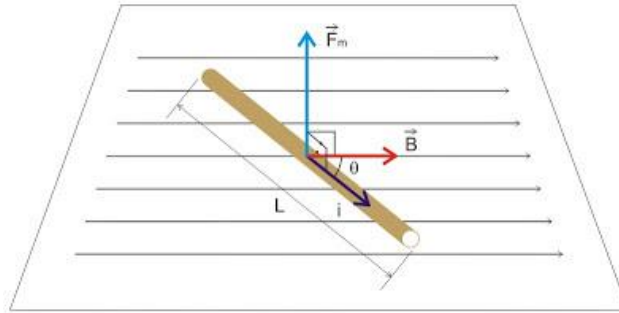
Obs.: $F_m \perp v \rightarrow$ a F_m não realiza trabalho.

- 3) Partícula eletrizada com carga $q > 0$ lançada obliquamente às linhas de indução magnética do campo.



Neste caso, decompomos a velocidade de lançamento v nas componentes: v_1 (paralela a B) e v_2 (perpendicular a B). Devido a v_1 a partícula descreve um MRU e devido a v_2 , um MCU. A composição de um MRU com um MCU resulta em um movimento uniforme com trajetória helicoidal.

Força magnética sobre condutores retilíneos percorridos por corrente elétrica imersos num campo magnético uniforme.



Um condutor de comprimento L , percorrido pela corrente i , está imerso em um campo de indução magnética \vec{B} uniforme. O ângulo entre \vec{B} e o fio é θ .

Vamos considerar Q a carga total livre que se movimenta no condutor. Sendo assim:

$$F_m = Q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta$$

Sabemos que:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{L}{\Delta t}$$

E que:

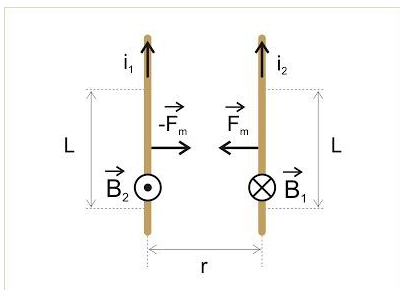
$$i = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow Q = i \cdot \Delta t$$

Podemos então concluir que:

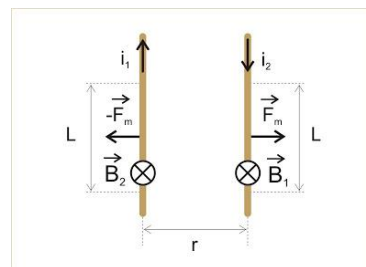
$$F_m = i \cdot \Delta t \cdot \frac{L}{\Delta t} \cdot B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$

A direção da \vec{F}_m é perpendicular ao plano e o sentido é dado pela regra da mão direita (ou regra da mão esquerda).

Força magnética entre condutores retilíneos paralelos



Correntes elétricas no mesmo sentido:
Condutores se **ATRAEM**



Correntes elétricas em sentidos opostos:
Condutores se **REPELEM**

Intensidade da força magnética entre os condutores:

$$F_m = B_1 \cdot i_2 \cdot L \text{ ou } F_m = B_2 \cdot i_1 \cdot L$$

$$\text{com } B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r} \text{ e } B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi r}$$

Assim, vem:

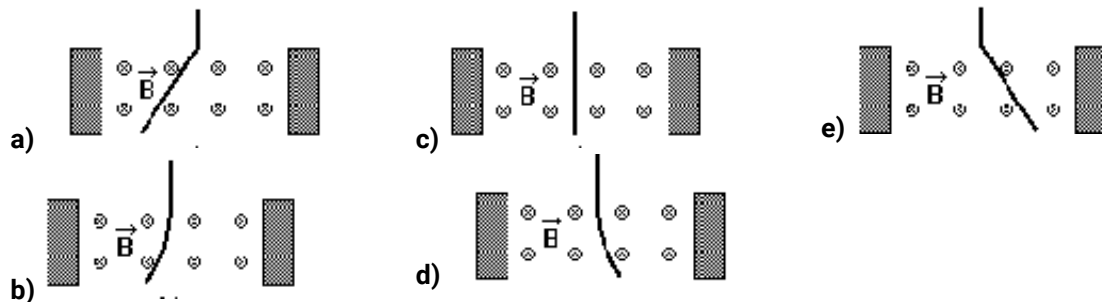
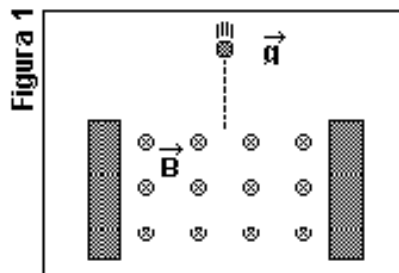
$$F_m = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi r} L$$

Exercícios

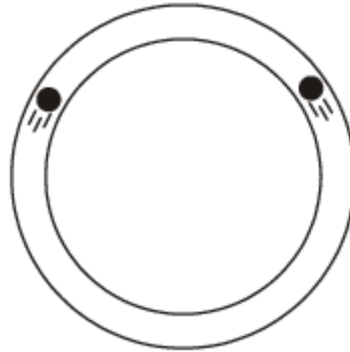
1. Uma partícula de carga q , com velocidade \vec{v} e massa m dentro de um campo magnético \vec{B} , fica sujeita a uma força \vec{F}_m pela ação desse campo. Sobre a situação, foram feitas três afirmações.
- I. A intensidade da força \vec{F}_m depende do valor de q .
 - II. O sentido da força \vec{F}_m depende do sinal de q .
 - III. A intensidade da força \vec{F}_m depende da velocidade v e da massa m da partícula.

A afirmativa correta é:

- a) I e III apenas
 - b) I e II apenas
 - c) II e III apenas
 - d) I, II e III
2. Uma pequena esfera carregada eletricamente com carga positiva e em queda livre penetra em uma região onde um campo magnético horizontal atua uniformemente. O esboço que melhor representa a trajetória da esfera no interior dessa região é:



3. Um feixe de raios catódicos, que nada mais é do que um feixe de elétrons, está preso a um campo magnético girando numa circunferência de raio $R = 2,0\text{cm}$. Se a intensidade do campo é de $4,5 \times 10^{-3}\text{T}$ e sua carga é $1,6 \times 10^{-19}\text{C}$ e $m = 9,11 \times 10^{-31}\text{kg}$, podemos dizer que a velocidade dos elétrons, no feixe, vale:
- $2,0 \times 10^3\text{ m/s}$
 - $1,6 \times 10^3\text{ m/s}$
 - $1,6 \times 10^7\text{ m/s}$
 - $2,0 \times 10^7\text{ m/s}$
 - $2,0 \times 10^4\text{ m/s}$
4. O acelerador LHC colidiu dois prótons, girando em trajetórias circulares com sentidos opostos, sendo um no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, veja a figura. Considere que as trajetórias dos prótons antes da colisão eram mantidas circulares devido unicamente à interação de campos magnéticos perpendiculares ao plano das órbitas dos prótons. Com fundamentos no eletromagnetismo, é correto afirmar:

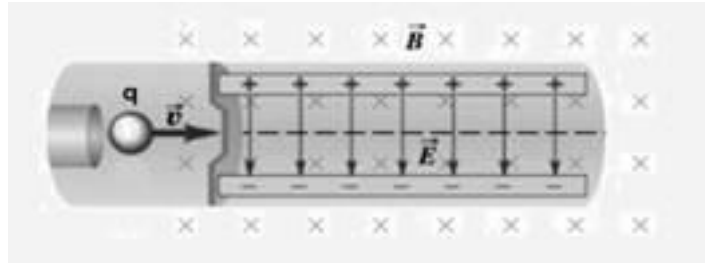


- (01) A finalidade do campo magnético é apenas mudar a direção da velocidade dos prótons.
- (02) A finalidade do campo magnético é aumentar a energia cinética dos prótons.
- (04) O próton que está girando no sentido horário está submetido a um campo magnético que possui um sentido que está entrando no plano da página.
- (08) A força magnética aplicada em cada próton possui direção tangente à trajetória.
- (16) A força magnética aplicada em cada próton não realiza trabalho.

A soma dos números das alternativas corretas da:

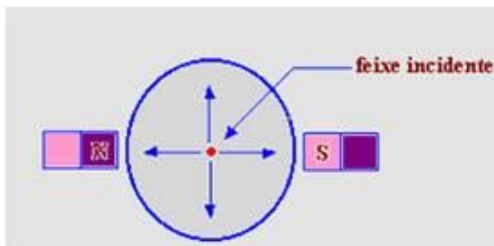
- 6
- 12
- 24
- 21
- 3

5. A figura a seguir representa uma partícula com carga elétrica q e velocidade \vec{v} , entrando em uma região onde há um campo magnético \vec{B} orientando para dentro da página e perpendicular a um campo elétrico \vec{E} .



Essa configuração de campos elétrico e magnético funciona como um seletor de velocidade para partículas carregadas. Desprezando-se a força gravitacional, a velocidade em que a partícula não sofre desvio, ou seja, a força elétrica anula a força magnética, é dada por:

- a) qE/B
 - b) E/B
 - c) B/q
 - d) B/E
6. A figura mostra a tela de um osciloscópio onde um feixe de elétrons, que provém perpendicularmente da página para seus olhos, incide no centro da tela. Aproximando-se lateralmente da tela dois ímãs iguais com seus respectivos polos mostrados, verificar-se-á que o feixe:

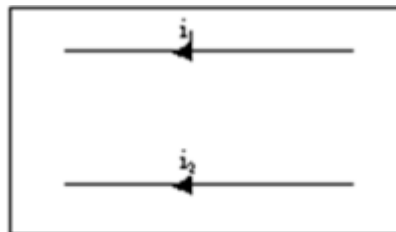


- a) será desviado para cima.
 - b) será desviado para baixo.
 - c) será desviado para a esquerda.
 - d) será desviado para a direita.
 - e) não será desviado.
7. Uma partícula com carga $q = 2,0\mu\text{C}$, de massa $m = 1,0 \times 10^{-7}\text{kg}$ penetra, com uma velocidade $v = 20\text{m/s}$, num campo magnético uniforme de indução $B = 4,0\text{T}$ através de um orifício existente no ponto O de um anteparo. Determine a que distância do ponto O a partícula incide no anteparo.
- a) 15 cm.
 - b) 30 cm.
 - c) 25 cm.
 - d) 45 cm.
 - e) 40 cm.

8. Duas partículas, A e B, de massas e cargas elétricas desconhecidas, entram numa região onde há um campo magnético uniforme, com velocidades idênticas e perpendiculares ao campo. Elas descrevem trajetórias circulares de raios r_a e r_b , respectivamente, tais que $r_a > r_b$. A respeito de suas massas e cargas, podemos dizer que:
- $q_a > q_b$; $m_a = m_b$
 - $q_a = q_b$; $m_a < m_b$
 - $m_a/q_a > m_b/q_b$
 - $m_a/q_a < m_b/q_b$
 - $m_a/q_a = m_b/q_b$
9. Um condutor retilíneo é percorrido por uma corrente elétrica igual a 50A. Medindo 25m de comprimento, esse condutor está totalmente imerso num campo magnético uniforme, cuja intensidade é $B = 2,5 \times 10^{-5} T$. Determine a direção, o sentido e a intensidade de força magnética sobre o condutor, sabendo que ele forma um ângulo de 30° com a direção do campo.
- 0,015625N; direção: horizontal e sentido: para a direita.
 - 0,043265N; direção: vertical e sentido: para baixo.
 - 0,043265N; direção: vertical e sentido: para cima.
 - 0,015625N; direção: perpendicular ao plano da folha e sentido: entrando na folha.
 - 0,015625N; direção: perpendicular ao plano da folha e sentido: saindo na folha.
10. A intensidade da força de interação eletromagnética entre dois condutores retilíneos, dispostos paralelamente um ao outro e percorridos por correntes elétricas de intensidades i_1 e i_2 é dada pela equação.

$$F = \mu_0 \cdot L \cdot i_1 \cdot i_2 / 2\pi d$$

Dois condutores idênticos estão dispostos paralelamente um ao outro, como mostra figura, distantes 10,00cm um do outro. Se a distância entre estes condutores passar a ser o dobro da inicial, eles irão _____ com uma força de intensidade_____.

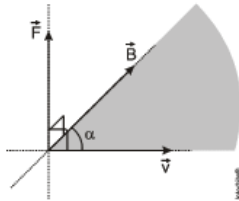


- repelir-se; $2F$
- repelir-se; $F/2$
- atrair-se; $2F$
- atrair-se; $F/2$
- atrair-se; \sqrt{F}

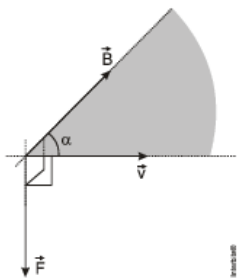
Gabarito

1. B

A figura mostra a velocidade de uma partícula carregada positivamente um campo magnético e a força recebida pela partícula. Note que a força é perpendicular ao plano formado por \vec{v} e \vec{B} .



A figura mostra a mesma situação para uma carga elétrica negativa:



O módulo da força magnética é dado pela expressão: $F_m = q.V.B.\text{sen}\alpha$.

2. D

Pela regra da mão direita além do peso passa a agir uma força magnética para a direita que provoca uma curva no seu movimento.

3. C

$$R = \frac{mv}{qB} \rightarrow v = \frac{RqB}{m} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}{9,11 \cdot 10^{-31}} \cong 1,6 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. D

$$01 + 04 + 16 = 21$$

(01) Correta. A força magnética sobre uma partícula eletrizada tem direção simultaneamente perpendicular ao campo e à velocidade. Assim sendo, Essa força exerce a função apenas de força centrípeta, alterando somente a direção do movimento, não alterando a velocidade. Logo, ela não transfere energia cinética às partículas, não realizando trabalho.

(02) Errada. Já justificado em (01).

(04) Correta. Basta aplicar a "regra da mão direita".

(08) Errada. Já justificado em (01).

(16) Correta. Já justificado em (01).

5. B

Para a condição de equilíbrio da situação descrita, as duas forças (elétrica e magnética) devem se equilibrar:

$$F_e = F_{\text{mag}} \rightarrow Eq = qvB \rightarrow v = \frac{E}{B}$$

6. B

Pela regra da mão esquerda a força magnética estará para cima, mas como são eletros estará para baixo.

7. C

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{10^{-7} \cdot 20}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 4} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

8. C

$$v_A = \frac{m_A \cdot v}{q_A \cdot B}$$

$$v_B = \frac{m_B \cdot v}{q_B \cdot B}$$

v e B são constante, logo, para que $v_A > v_B$, devemos

$$\text{ter } \frac{m_A}{q_A} > \frac{m_B}{q_B} .$$

9. D

O módulo da força é calculado através da expressão:

$$F = B \text{sen}\theta = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 50 \cdot 25 \cdot \text{sen}30^\circ = 1,5625 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

0,015625n; direção: perpendicular ao plano da folha e sentido: entrando na folha.

10. D

Dobrando-se a distância r a força magnética passa a ter intensidade $f/2$ e tendo mesmo sentido os condutores se atraem.