

Universidade Federal do Rio de Janeiro
 Instituto de Física
 Física III – 2010/2
 Prova Final (PF) – 09/12/2010
 Versão: A

Aluno: _____
 Assinatura: _____
 DRE: _____
 Professor: _____
 Turma: _____

Seção	Nota original	Iniciais	Nota de revisão
Parte objetiva (total)			
Parte discursiva: Questão 1			
Parte discursiva: Questão 2			
Total			

INSTRUÇÕES: LEIA COM CUIDADO!

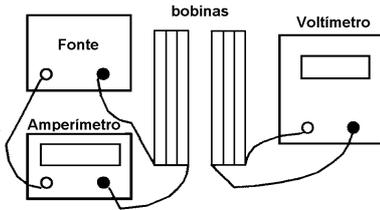
1. Preencha *correta, legível e totalmente* os campos em branco (Aluno, Assinatura, DRE, Professor e Turma) do cabeçalho acima. Sem isso, a correção de sua prova poderá ficar prejudicada!
2. A prova constitui-se de duas partes:
 - uma parte objetiva, perfazendo um total de 5,0 pontos, constituída por dez (10) questões objetivas (de múltipla escolha), cada uma das quais valendo 0,5 ponto, sem penalização por questão errada.
 - uma parte discursiva, perfazendo um total de 5,0 pontos, constituída por duas (2) questões discursivas (ou argumentativas ou dissertativas), cada uma das quais valendo 2,5 pontos.
3. A parte objetiva deve ser preenchida *a caneta*.
4. É vedado o uso de qualquer instrumento eletro-eletrônico (calculadora, celular, iPod, etc)

Formulário

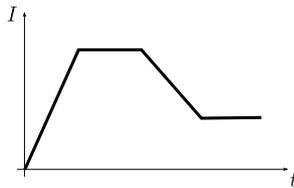
$$\begin{aligned}
 \mathbf{F}_e &= q\mathbf{E}, & \mathbf{F}_m &= q\mathbf{v} \times \mathbf{B}, & \mathbf{F}_m &= \int_C I d\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B}, & \oint_S \mathbf{E} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}, \\
 \oint_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA &= 0, & \mathbf{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}, & \mathbf{B} &= \int_C \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\boldsymbol{\ell} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}, & \oint_C \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\ell} &= \mu_0 I_{\text{enc}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}, \\
 \mathcal{E} &= -\frac{d\Phi_B}{dt}, & u_E &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2, & u_B &= \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}. \\
 \int \frac{du}{(u^2 + a^2)^{3/2}} &= \frac{u}{a^2 \sqrt{u^2 + a^2}}
 \end{aligned}$$

Seção 1. Múltipla escolha (10×0,5=5,0 pontos)

1. Uma fonte de tensão variável é conectada em série a uma bobina e um amperímetro, como mostrado no diagrama abaixo. Outra bobina próxima, também mostrada, está conectada a um voltímetro.



Sabe-se que a corrente na primeira bobina, em função do tempo, tem o comportamento mostrado no gráfico abaixo.



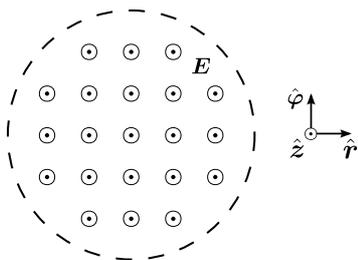
Qual dos gráficos a seguir indica corretamente o comportamento, em função do tempo, da tensão lida no voltímetro?

- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)

2. São dadas duas cascas condutoras esféricas, muito finas, concêntricas, de raios a e b , com $a < b$. Na menor, de raio a , há uma carga $Q > 0$, ao passo que na maior, de raio b , há uma carga $-2Q$. Em um certo momento, essas cascas são eletricamente conectadas. Após atingido o equilíbrio eletrostático, indique em qual das cascas o módulo da carga é maior e em qual o potencial eletrostático é maior.

- (a) casca de raio a , casca de raio a .
- (b) casca de raio a , casca de raio b .
- (c) as cascas têm a mesma carga e o mesmo potencial.
- (d) casca de raio b , casca de raio a .
- (e) casca de raio b , casca de raio b .
- (f) casca de raio a ; ambas as cascas têm o mesmo potencial.
- (g) casca de raio b ; ambas as cascas têm o mesmo potencial.

3. Em uma região cilíndrica, muito longa, existe um campo elétrico uniforme, mas não estacionário: $\mathbf{E}(t) = E_z(t)\hat{z}$; a componente z de tal campo é crescente com o tempo. A figura abaixo mostra uma seção, vista ao longo do eixo z de simetria, da situação. Baseado em tal figura, assinale a opção que indica corretamente a direção e sentido do campo magnético induzido.



- (a) Não há campo magnético induzido, pois não há correntes.
 (b) No sentido anti-horário, ou seja, no sentido de $\hat{\phi}$.
 (c) No sentido horário, ou seja, no sentido de $-\hat{\phi}$.
 (d) No sentido do próprio \mathbf{E} , ou seja, no sentido de \hat{z} .
 (e) No sentido oposto ao de \mathbf{E} , ou seja, no sentido de $-\hat{z}$.

4. Considere um campo elétrico, com simetria esférica, dado por

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{cases} C(r^2 - r_0^2)\hat{r}, & r < 2r_0, \\ \mathbf{0}, & r > 2r_0, \end{cases}$$

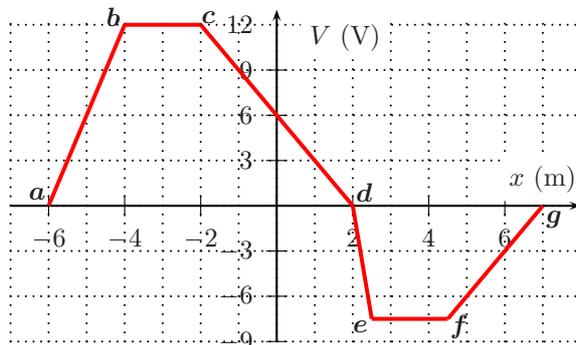
onde C e r_0 são constantes. Qual é a carga total dentro da esfera de raio $\sqrt{3}r_0$, concêntrica com a origem?

- (a) $\epsilon_0 C r_0^4$.
 (b) $\pi \epsilon_0 C r_0^4$.
 (c) $4\pi \epsilon_0 C r_0^4$.
 (d) $8\pi \epsilon_0 C r_0^4$.
 (e) $24\pi \epsilon_0 C r_0^4$.

5. Considere uma partícula de carga q , a qual possui, num determinado instante, velocidade $\mathbf{v} = v_y\hat{y} + v_z\hat{z}$. Nesse instante, a partícula está submetida a um campo elétrico $\mathbf{E} = E_x\hat{x}$ e a um campo magnético $\mathbf{B} = B_z\hat{z}$. Qual é o vetor força resultante que age sobre a partícula?

- (a) $q(E_x + v_y B_z)\hat{x}$.
 (b) $q(E_x\hat{x} + v_z B_x\hat{y} - v_y B_x\hat{z})$.
 (c) $q(E_x - v_y B_z)\hat{x}$.
 (d) $q(E_x\hat{x} + v_z B_z\hat{z})$.
 (e) $\mathbf{0}$.

6. Em uma certa situação, o potencial eletrostático varia ao longo do eixo X conforme mostrado na figura abaixo. Assinale a opção que melhor aproxima o valor da componente x do campo elétrico (em V/m) para cada um dos intervalos ab , bc , cd , de , ef , fg .



- (a) $-6, 0, -3, 15, 0, -3$.
 (b) $-6, 0, 3, 15, 0, 3$.
 (c) $-6, 0, 3, 15, 0, -3$.
 (d) $6, 0, 3, -15, 0, -3$.
 (e) $6, 0, -3, -15, 0, 3$.

7. Considere as seguintes três afirmações: (I) a lei de Biot-Savart é válida para qualquer corrente estacionária, ao passo que a lei de Ampère (sem o termo de corrente de deslocamento) é válida apenas para correntes estacionárias com simetrias simples; (II) o fluxo do campo magnético através de uma superfície fechada que contém somente a metade de um ímã é positivo se essa metade contém apenas o pólo norte; (III) em havendo, numa dada região, campos magnéticos não estacionários, então, nessa mesma região, necessariamente haverá campos elétricos. Assinale a opção que indica, dessas afirmações, aquelas corretas.
- III.
 - II.
 - I.
 - I, II.
 - I, III.
 - II, III.
 - Nenhuma.
8. Sabe-se que o módulo do campo elétrico na região entre duas placas planas muito grandes, separadas por uma pequena distância, e com densidades superficiais de mesmo módulo, σ , é dado por $E = \sigma/\epsilon_0$. Podemos afirmar que:
- as duas placas são condutoras.
 - as duas placas são isolantes.
 - uma das placas é condutora e a outra placa é isolante.
 - as densidades superficiais de cargas nas placas têm o mesmo sinal.
 - as densidades superficiais de cargas nas placas têm sinais opostos.
9. Temos dois indutores ideais, totalmente separados um do outro, de mesma auto-indutância. No primeiro deles, passa uma corrente de intensidade $I_1(t) = (6 \text{ A/s}) t$, ao passo que, no segundo, passa uma outra corrente de intensidade $I_2(t) = (1 \text{ A/s}^2) t^2$. No instante $t = 3 \text{ s}$, qual das opções abaixo é a correta?
- A fem auto-induzida no indutor 1 tem módulo maior que o da auto-induzida no indutor 2.
 - A fem auto-induzida no indutor 1 tem módulo menor que o da auto-induzida no indutor 2.
 - As fem's auto-induzidas nos indutores 1 e 2 têm módulos iguais.
 - Não é possível comparar os módulos das fem's auto-induzidas só com os dados fornecidos.
10. Uma superfície imaginária fechada envolve completamente um dipolo elétrico e nenhuma outra partícula carregada. Podemos afirmar que:
- o campo elétrico é zero em todos os pontos da superfície.
 - o campo elétrico é normal à superfície em todos os pontos da mesma.
 - o fluxo do campo elétrico através da superfície não pode ser igual a zero, pois há cargas envolvidas pela mesma.
 - o fluxo do campo elétrico através de uma parte da superfície pode não ser igual a zero.

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5=5,0 pontos)

1. Uma barra fina está disposta no eixo Z , entre $z = 0$ e $z = L > 0$, conforme mostra a figura ao lado. Nela, há uma densidade linear constante (uniforme e estacionária) λ .
- (a) Determine o potencial elétrico, num ponto P do próprio eixo Z , com cota $z > L$. Considere o potencial elétrico igual a zero no infinito. [1,5 ponto]
- (b) Determine o vetor campo elétrico (módulo, direção e sentido), no mesmo ponto P supracitado. [1,0 ponto]



2.

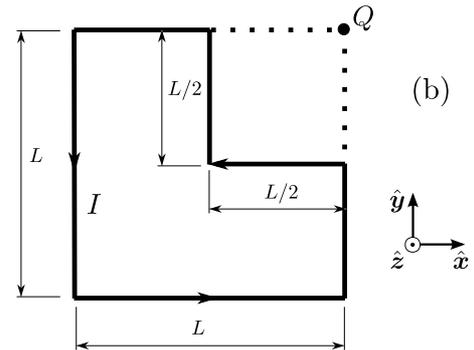
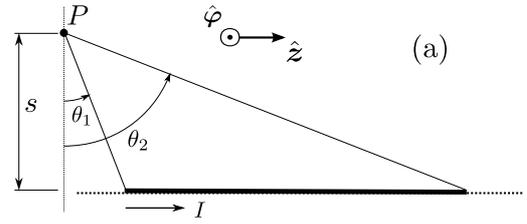
(a) A figura (a) ao lado mostra a geometria para o cálculo do vetor campo magnético \mathbf{B} , em um ponto P arbitrário, devido ao segmento retilíneo de uma corrente estacionária de intensidade I . Mostre que a contribuição de tal segmento para o campo magnético é dada por

$$\mathbf{B}(s, \theta_1, \theta_2) = \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \hat{\varphi}.$$

[1,5 ponto]

(b) Partindo da expressão apresentada acima, deduza o vetor campo magnético resultante (módulo, direção e sentido) no ponto Q mostrado na figura (b) ao lado.

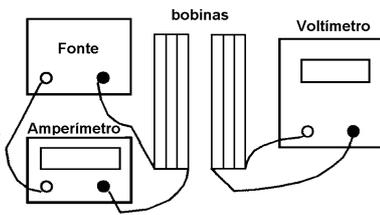
[1,0 ponto]



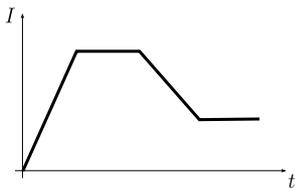
Gabarito para Versão A

Seção 1. Múltipla escolha (10×0,5=5,0 pontos)

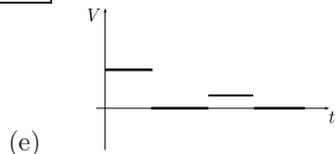
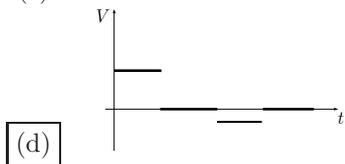
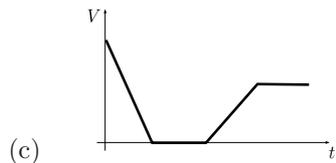
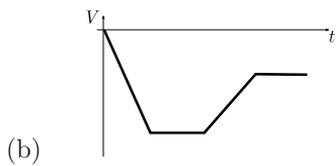
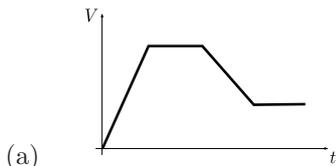
1. Uma fonte de tensão variável é conectada em série a uma bobina e um amperímetro, como mostrado no diagrama abaixo. Outra bobina próxima, também mostrada, está conectada a um voltímetro.



Sabe-se que a corrente na primeira bobina, em função do tempo, tem o comportamento mostrado no gráfico abaixo.



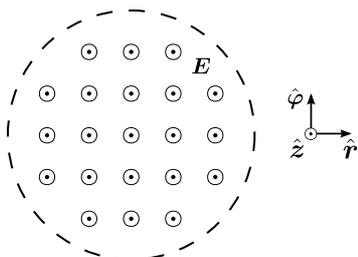
Qual dos gráficos a seguir indica corretamente o comportamento, em função do tempo, da tensão lida no voltímetro?



2. São dadas duas cascas condutoras esféricas, muito finas, concêntricas, de raios a e b , com $a < b$. Na menor, de raio a , há uma carga $Q > 0$, ao passo que na maior, de raio b , há uma carga $-2Q$. Em um certo momento, essas cascas são eletricamente conectadas. Após atingido o equilíbrio eletrostático, indique em qual das cascas o módulo da carga é maior e em qual o potencial eletrostático é maior.

- (a) casca de raio a , casca de raio a .
 (b) casca de raio a , casca de raio b .
 (c) as cascas têm a mesma carga e o mesmo potencial.
 (d) casca de raio b , casca de raio a .
 (e) casca de raio b , casca de raio b .
 (f) casca de raio a ; ambas as cascas têm o mesmo potencial.
(g) casca de raio b ; ambas as cascas têm o mesmo potencial.

3. Em uma região cilíndrica, muito longa, existe um campo elétrico uniforme, mas não estacionário: $\mathbf{E}(t) = E_z(t)\hat{z}$; a componente z de tal campo é crescente com o tempo. A figura abaixo mostra uma seção, vista ao longo do eixo z de simetria, da situação. Baseado em tal figura, assinale a opção que indica corretamente a direção e sentido do campo magnético induzido.



- (a) Não há campo magnético induzido, pois não há correntes.
 (b) No sentido anti-horário, ou seja, no sentido de $\hat{\phi}$.
 (c) No sentido horário, ou seja, no sentido de $-\hat{\phi}$.
 (d) No sentido do próprio \mathbf{E} , ou seja, no sentido de \hat{z} .
 (e) No sentido oposto ao de \mathbf{E} , ou seja, no sentido de $-\hat{z}$.

4. Considere um campo elétrico, com simetria esférica, dado por

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{cases} C(r^2 - r_0^2)\hat{r}, & r < 2r_0, \\ \mathbf{0}, & r > 2r_0, \end{cases}$$

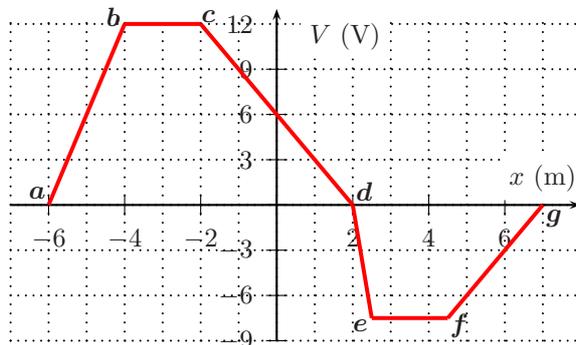
onde C e r_0 são constantes. Qual é a carga total dentro da esfera de raio $\sqrt{3}r_0$, concêntrica com a origem?

- (a) $\epsilon_0 C r_0^4$.
 (b) $\pi \epsilon_0 C r_0^4$.
 (c) $4\pi \epsilon_0 C r_0^4$.
 (d) $8\pi \epsilon_0 C r_0^4$.
 (e) $24\pi \epsilon_0 C r_0^4$.

5. Considere uma partícula de carga q , a qual possui, num determinado instante, velocidade $\mathbf{v} = v_y\hat{y} + v_z\hat{z}$. Nesse instante, a partícula está submetida a um campo elétrico $\mathbf{E} = E_x\hat{x}$ e a um campo magnético $\mathbf{B} = B_z\hat{z}$. Qual é o vetor força resultante que age sobre a partícula?

- (a) $q(E_x + v_y B_z)\hat{x}$.
 (b) $q(E_x\hat{x} + v_z B_x\hat{y} - v_y B_x\hat{z})$.
 (c) $q(E_x - v_y B_z)\hat{x}$.
 (d) $q(E_x\hat{x} + v_z B_z\hat{z})$.
 (e) $\mathbf{0}$.

6. Em uma certa situação, o potencial eletrostático varia ao longo do eixo X conforme mostrado na figura abaixo. Assinale a opção que melhor aproxima o valor da componente x do campo elétrico (em V/m) para cada um dos intervalos ab , bc , cd , de , ef , fg .



- (a) $-6, 0, -3, 15, 0, -3$.
 (b) $-6, 0, 3, 15, 0, 3$.
 (c) $-6, 0, 3, 15, 0, -3$.
 (d) $6, 0, 3, -15, 0, -3$.
 (e) $6, 0, -3, -15, 0, 3$.

7. Considere as seguintes três afirmações: (I) a lei de Biot-Savart é válida para qualquer corrente estacionária, ao passo que a lei de Ampère (sem o termo de corrente de deslocamento) é válida apenas para correntes estacionárias com simetrias simples; (II) o fluxo do campo magnético através de uma superfície fechada que contém somente a metade de um ímã é positivo se essa metade contém apenas o pólo norte; (III) em havendo, numa dada região, campos magnéticos não estacionários, então, nessa mesma região, necessariamente haverá campos elétricos. Assinale a opção que indica, dessas afirmações, aquelas corretas.
- (a) III.
 (b) II.
 (c) I.
 (d) I, II.
 (e) I, III.
 (f) II, III.
 (g) Nenhuma.
8. Sabe-se que o módulo do campo elétrico na região entre duas placas planas muito grandes, separadas por uma pequena distância, e com densidades superficiais de mesmo módulo, σ , é dado por $E = \sigma/\epsilon_0$. Podemos afirmar que:
- (a) as duas placas são condutoras.
 (b) as duas placas são isolantes.
 (c) uma das placas é condutora e a outra placa é isolante.
 (d) as densidades superficiais de cargas nas placas têm o mesmo sinal.
 (e) as densidades superficiais de cargas nas placas têm sinais opostos.
9. Temos dois indutores ideais, totalmente separados um do outro, de mesma auto-indutância. No primeiro deles, passa uma corrente de intensidade $I_1(t) = (6 \text{ A/s}) t$, ao passo que, no segundo, passa uma outra corrente de intensidade $I_2(t) = (1 \text{ A/s}^2) t^2$. No instante $t = 3 \text{ s}$, qual das opções abaixo é a correta?
- (a) A fem auto-induzida no indutor 1 tem módulo maior que o da auto-induzida no indutor 2.
 (b) A fem auto-induzida no indutor 1 tem módulo menor que o da auto-induzida no indutor 2.
 (c) As fem's auto-induzidas nos indutores 1 e 2 têm módulos iguais.
 (d) Não é possível comparar os módulos das fem's auto-induzidas só com os dados fornecidos.
10. Uma superfície imaginária fechada envolve completamente um dipolo elétrico e nenhuma outra partícula carregada. Podemos afirmar que:
- (a) o campo elétrico é zero em todos os pontos da superfície.
 (b) o campo elétrico é normal à superfície em todos os pontos da mesma.
 (c) o fluxo do campo elétrico através da superfície não pode ser igual a zero, pois há cargas envolvidas pela mesma.
 (d) o fluxo do campo elétrico através de uma parte da superfície pode não ser igual a zero.

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5=5,0 pontos)

1. Uma barra fina está disposta no eixo Z , entre $z = 0$ e $z = L > 0$, conforme mostra a figura ao lado. Nela, há uma densidade linear constante (uniforme e estacionária) λ .



(a) Determine o potencial elétrico, num ponto P do próprio eixo Z , com cota $z > L$. Considere o potencial elétrico igual a zero no infinito. [1,5 ponto]

(b) Determine o vetor campo elétrico (módulo, direção e sentido), no mesmo ponto P supracitado. [1,0 ponto]

Resolução:

(a) Um elemento infinitesimal da barra, com carga dq , com cota z' e de comprimento $d\ell = dz' > 0$ dá a seguinte contribuição para o potencial no ponto P :

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz'}{z - z'} \quad (1)$$

$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda d(z - z')}{z - z'}. \quad (2)$$

Logo, por integração desde $z' = 0$ até $z' = L$ e levando em conta a condição de contorno no infinito, obtemos

$$V(x = 0, y = 0, z) = -\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{z - L}{z}\right).$$

■

(b) Como, do item precedente, temos o valor do potencial para qualquer ponto do eixo Z , podemos, pelo menos, calcular a componente z do correspondente campo elétrico. Além disso, por simetria, sabemos, obviamente, que as componentes x e y de tal campo são nulas. Logo,

$$\mathbf{E}(P) = E_z(P) \hat{z}$$

$$= -\frac{\partial V}{\partial z}(P) \hat{z}$$

$$= -\left[-\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \frac{Lz^{-2}}{1 - L/z}\right] \hat{z},$$

ou, finalmente,

$$\mathbf{E}(P) = \frac{\lambda L}{4\pi\epsilon_0 z(z - L)} \hat{z}.$$

■

2.

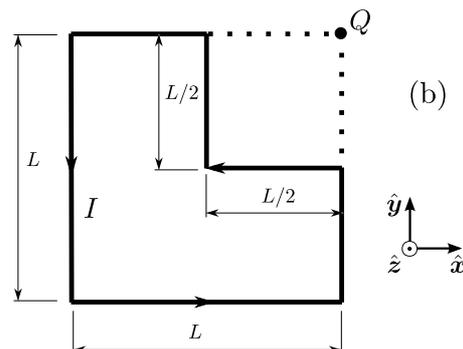
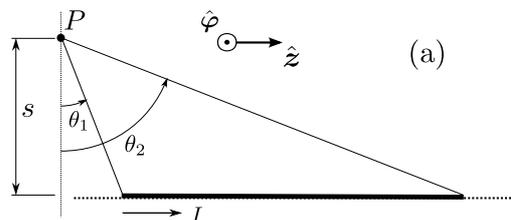
(a) A figura (a) ao lado mostra a geometria para o cálculo do vetor campo magnético \mathbf{B} , em um ponto P arbitrário, devido ao segmento retilíneo de uma corrente estacionária de intensidade I . Mostre que a contribuição de tal segmento para o campo magnético é dada por

$$\mathbf{B}(s, \theta_1, \theta_2) = \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \hat{\varphi}.$$

[1,5 ponto]

(b) Partindo da expressão apresentada acima, deduza o vetor campo magnético resultante (módulo, direção e sentido) no ponto Q mostrado na figura (b) ao lado.

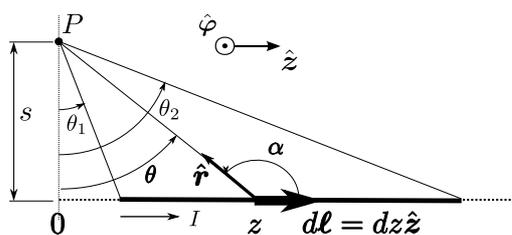
[1,0 ponto]



Resolução:

(a) Como o segmento retilíneo faz parte de uma corrente estacionária, podemos e vamos usar a lei de Biot-Savart a fim de calcular a contribuição para o campo magnético devido a tal segmento.

Primeiro, construamos a contribuição infinitesimal $d\mathbf{B}$, devido a um elemento genérico de corrente $I d\ell$ (cf. Figura abaixo). Aqui, escolhemos $|d\ell| = dz > 0$ e, naturalmente, pela figura, o ângulo entre o versor \hat{z} e o versor \hat{r} , que aponta do elemento de corrente até o ponto P , é $\theta + \pi/2$; logo,



$$\begin{aligned}
d\mathbf{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\boldsymbol{\ell} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2} \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idz\hat{\mathbf{z}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2} \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idz \sin \alpha}{r^2} \hat{\boldsymbol{\varphi}} \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idz \sin(\theta + \pi/2)}{r^2} \hat{\boldsymbol{\varphi}} \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idz \cos \theta}{r^2} \hat{\boldsymbol{\varphi}}.
\end{aligned} \tag{3}$$

Nessa última expressão, as grandezas z , θ e r são todas, no que diz respeito à integração para computarmos o campo resultante, variáveis. Na verdade, com s dado, uma vez conhecido o valor de uma qualquer dessas três grandezas, as outras duas ficam determinadas. Devemos, pois, escolher com relação a qual delas, de fato, realizaremos a integração. Exploraremos duas das três opções.

Começemos por escolher como variável independente de integração o ângulo θ . Nesse caso, vale que

$$\frac{z}{s} = \tan \theta \quad \Rightarrow \quad dz = s \sec^2 \theta d\theta. \tag{4}$$

Além disso,

$$r^2 = s^2 + z^2 = s^2 \sec^2 \theta.$$

Logo, substituindo essas duas últimas expressões na (3), obtemos

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{s} \cos \theta d\theta \hat{\boldsymbol{\varphi}}.$$

Integrando, pois, desde o limite inferior $\theta = \theta_1$ (por quê?) até o superior $\theta = \theta_2$, chegamos finalmente a fórmula desejada:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \hat{\boldsymbol{\varphi}}.$$

A outra escolha que exploraremos é a de z como variável independente de integração. Nesse caso, temos

$$\cos \theta = \frac{s}{r}$$

e, de novo,

$$r^2 = s^2 + z^2.$$

Com isso, a (3) fica

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I s}{4\pi} \frac{dz}{(s^2 + z^2)^{3/2}} \hat{\boldsymbol{\varphi}}.$$

Devemos, agora, integrar tal expressão desde o limite inferior $z = z_1$ (extremidade esquerda) até o limite superior $z = z_2$ (extremidade direita). Usando o formulário da própria prova, obtemos

$$\begin{aligned}
\mathbf{B} &= \frac{\mu_0 I s}{4\pi} \int_{z=z_1}^{z_2} \frac{dz}{(s^2 + z^2)^{3/2}} \hat{\boldsymbol{\varphi}} \\
&= \frac{\mu_0 I s}{4\pi} \left. \frac{z}{s^2 \sqrt{s^2 + z^2}} \right|_{z=z_1}^{z_2} \hat{\boldsymbol{\varphi}} \\
&= \frac{\mu_0 I}{4\pi s} \left[\frac{z_2}{\sqrt{s^2 + z_2^2}} - \frac{z_1}{\sqrt{s^2 + z_1^2}} \right] \hat{\boldsymbol{\varphi}}.
\end{aligned}$$

Como $z/r = \text{sen } \theta$, temos, de novo,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\text{sen } \theta_2 - \text{sen } \theta_1) \hat{\varphi}.$$

■

(b) Os segmentos retilíneos menores, cujos prolongamentos contêm o ponto Q não contribuem para o campo magnético em Q . Sobram, pois, quatro segmentos para considerar: dois maiores e dois menores. Cada um dos dois maiores dá a mesma contribuição para o campo total em Q , a saber,

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{1 \text{ seg maior}}(Q) &= \frac{\mu_0 I}{4\pi L} \text{sen } (\pi/4) \hat{z} \\ &= \frac{\sqrt{2}\mu_0 I}{8\pi L} \hat{z}. \end{aligned} \quad (5)$$

Por outro lado, cada um dos dois segmentos menores também dá a mesma contribuição para o campo total em Q , a saber,

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{1 \text{ seg menor}}(Q) &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi L/2} \text{sen } (\pi/4) \hat{z} \\ &= -\frac{\sqrt{2}\mu_0 I}{4\pi L} \hat{z}. \end{aligned} \quad (6)$$

Destarte, o campo resultante em Q é

$$\mathbf{B}(Q) = 2\mathbf{B}_{1 \text{ seg maior}}(Q) + 2\mathbf{B}_{1 \text{ seg menor}}(Q),$$

ou seja,

$$\mathbf{B}(Q) = -\frac{\sqrt{2}\mu_0 I}{4\pi L} \hat{z}.$$

■

